DEUTSCHE internationale Zeitschrift

für zeitgenössische Wissenschaft

№132
2026

DIZZW 2020

DEUTSCHE internationale Zeitschrift
für zeitgenössische Wissenschaft

DIZZW 2020

DEUTSCHE internationale Zeitschrift
für zeitgenössische Wissenschaft

ISSN (Print) 2701-8369
ISSN (Online) 2701-8377

Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft

• • •

№132 2026

Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft ist eine internationale Fachzeitschrift in deutscher, englischer und russischer Sprache.

Periodizität: 24 Ausgaben pro Jahr
Format - A4
Alle Artikel werden überprüft.
Freier Zugang zur elektronischen Version des Journals

- Edmund Holst (Salzburg) AT
- Michaela Meissner (Köln) DE
- Klara Amsel (Liège) BE
- Briana French (Cambridge) GB
- Joleen Parsons (Manchester) GB
- Dragomir Koev (Sofia) BG
- Stanislav Štěpánek (Praha) CZ
- Valeriya Kornilova (Kyiv) UA
- Dmitriy Aksenov (Lviv) UA
- Valentin Bragin (Moscow) RU
- Mirosław Bednarski (Warsaw) PL
- Daniela Villa (Florence) IT
- Mattia Molteni (Rome) IT
- Sylwia Krzemińska (Ljubljana) SI
- Käte Kraus (Vienna) AT
- Eleonora Lehmann (Berlin) DE
- Alexander Dressler (Marseille) FR
- Zdzisław Małecki (Warsaw) PL
- Adrián Borbély (Budapest) HU

German International Journal of Modern Science

• • •

№132 2026

German International Journal of Modern Science is an international, German/English/Russian/Ukrainian language, peer-reviewed journal.

Periodicity: 24 issues per year
Format - A4
All articles are reviewed.
Free access to the electronic version of journal.

- Edmund Holst (Salzburg) AT
- Michaela Meissner (Köln) DE
- Klara Amsel (Liège) BE
- Briana French (Cambridge) GB
- Joleen Parsons (Manchester) GB
- Dragomir Koev (Sofia) BG
- Stanislav Štěpánek (Praha) CZ
- Valeriya Kornilova (Kyiv) UA
- Dmitriy Aksenov (Lviv) UA
- Valentin Bragin (Moscow) RU
- Mirosław Bednarski (Warsaw) PL
- Daniela Villa (Florence) IT
- Mattia Molteni (Rome) IT
- Sylwia Krzemińska (Ljubljana) SI
- Käte Kraus (Vienna) AT
- Eleonora Lehmann (Berlin) DE
- Alexander Dressler (Marseille) FR
- Zdzisław Małecki (Warsaw) PL
- Adrián Borbély (Budapest) HU

Artmedia24

Anschrift: Industriestraße 8,74589 Satteldorf Deutschland.

E-mail: info@dizzw.com
WWW: www.dizzw.com

Chefredakeur: Reinhardt Roth

Druck: Einzelfirma Artmedia24, Industriestraße 8,74589 Satteldorf Deutschland

Artmedia24

Address: Industriestrasse 8,74589 Satteldorf Germany.

E-mail: info@dizzw.com
WWW: www.dizzw.com

Editor in chief: Reinhardt Roth

Printing: Artmedia24, Industriestrasse 8,74589 Satteldorf Germany.

Der Redaktionsausschuss der Zeitschrift ist nicht verantwortlich für die veröffentlichten Materialien.

Für den Inhalt der Artikel sind die Autoren verantwortlich
Die Meinung der Redaktion spiegelt nicht unbedingt die Meinung der Autoren wider.

Bei Nachdrucken muss die Zeitschrift zitiert werden.

Das Material wird im eigenen Wortlaut des Autors veröffentlicht.

Editorial board of journal is not responsible for the materials published there.

Authors are responsible for the content of articles.

Opinion of editorial board may not coincide with the opinion of authors.

In case of materials reprinting - link to journal is required.
Materials are publishing in author's edition.

Edition: № 132/2026 (July) – 132th

Passed in press in July 2026

Printed in July, 2026

Printing: Artmedia 24, Industriestrasse 8,

74589 Satteldorf, Germany.

© Artmedia24

© Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft / German International Journal of Modern Science

CONTENT

BIOLOGICAL SCIENCES

Shakhla Mammad Afandiyeva
ADAPTIVE CHARACTERISTICS OF AQUATIC PLANTS AS A RESULT OF EVOLUTIONARY ADAPTATION TO HYDROPHYTIC CONDITIONS.....5

Asadova Basti Goshun, Ismayilova Zarifa Rasul
BİOSYNTHESİS OF PLANT ALKALOİDS.....9

Asadova Basti Goshun, Gafarova Parvin Muhamed
PATHOGENIC MYCOBIOTA IN PLANT ECOSYSTEMS OF AZERBAIJAN AND ITS SCIENTIFIC STUDY..... 12

ECONOMIC SCIENCES

Babunashvili E., Kipiani M.
SMALL BUSINESS AND THE KEY ASPECTS OF REAL OPPORTUNITIES FOR OVERCOMING POVERTY 15

David Bidzinashvili
ECONOMIC MODELING OF DEMOGRAPHIC PROCESSES: THE CASE OF GEORGIA..... 18

HISTORICAL SCIENCES

Nadir Huseyinbeyli, Fakhraddin Jafarov
THE SOCIO-POLITICAL SITUATION IN NAKHCHIVAN AT THE BEGINNING OF THE 20TH CENTURY.....20

JURISPRUDENCE

Bernadett Szólláth
DEATH BENEFITS IN FAVOR OF THE CHURCH: CIVIL AND CANON LAW IMPLICATIONS.....23

Lela Gudadze, Amiran Mosulishvili
THE CONCEPT OF GUILT AND ITS NORMATIVE TRANSFORMATION IN MODERN LAW..... 33

MEDICAL SCIENCES

Emir Bayandurov, Ramaz Orjonikidze, Sophio Kraveishvili, Nino Cheminava, Ali Rachid, Anna Ambarian
NON-INVASIVE IOS–CBCT REGISTRATION IN EDENTULOUS JAWS USING DENTURE-MOUNTED REFERENCE POINTS: A DIGITAL CASE REPORT.....38

PEDAGOGICAL SCIENCES

Gultakin Arabova, Asmar Ahmadli
APPLICATION POSSIBILITIES OF AUGMENTED AND VIRTUAL LABORATORIES IN BIOLOGY EDUCATION...45

Bondarenko N.
NEUROCOGNITIVE BASIS OF MEMORY CONSOLIDATION IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING 47

PHYSICAL SCIENCES

Jalilova Sevinj Xazay, Abdurahmanova V.A., Atilla Rustambayli
THERMAL CONDUCTIVITY OF THE (SnSe)1-x(SmSe)x SYSTEM ALLOYS 52

Mark Solomonov
A NEW MODEL OF CELESTIAL MECHANICS..... 55

TECHNICAL SCIENCES

Aliyeva O.O.
INTEGRATION OF BIOGAS INTO SMART ENERGY GRIDS: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS 67

Amariei Olga-Ioana, Hamat Codruța-Oana, Georgevici Gabriela-Felicia, Chicheș Marian
STATISTICAL ANALYSIS OF PROSUMERS CONNECTED TO THE LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK IN THE BANAT REGION, ROMANIA 72

Chyzhevskyi Volodymyr
DETERMINING THE OPTIMAL NUMBER OF MAIN FEEDERS FOR A MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDING BASED ON THE TOTAL DISCOUNTED COST FUNCTION 78

Hrebeniuk O.
PRINCIPLES OF DESIGNING SELF-LEARNING DATA FLOW MANAGEMENT SYSTEMS IN A BUSINESS ENVIRONMENT 81

Vera-Serna P., Garcia-Sanchez I., Martínez-Bocanegra M.A., Cetina-Quijano G. M.
EFFECT OF BARIUM ON THE CRYSTALLINE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AN AUTOMOTIVE ALUMINUM ALLOY 87

BIOLOGICAL SCIENCES

ADAPTIVE CHARACTERISTICS OF AQUATIC PLANTS AS A RESULT OF EVOLUTIONARY ADAPTATION TO HYDROPHYTIC CONDITIONS

Shakhla Mammad Afandiyeva
Baku State University, Baku, Azerbaijan
DOI: 10.5281/zenodo.21471039

Abstract

Aquatic plants (hydrophytes) constitute a specialized ecological group that has evolved through long-term adaptation to aquatic environments. This study examines the principal adaptive traits that enable hydrophytes to survive and develop successfully across diverse aquatic ecosystems. Particular attention is given to the morphological, anatomical, and physiological modifications that have evolved in response to specific environmental factors, including permanent water saturation, oxygen deficiency, light availability, and hydrodynamic forces. The characteristic features of aquatic plants, such as the reduction of mechanical tissues and root systems, the development of aerenchyma, specialized leaf and stem structures, and adaptations associated with gas exchange and mineral nutrition, are comprehensively analyzed. These adaptations enhance the efficient utilization of aquatic resources while increasing plant resilience to environmental fluctuations. The findings demonstrate that the complex adaptive characteristics of hydrophytes represent the outcome of prolonged evolutionary processes and reflect a high degree of ecological specialization to aquatic habitats.

Keywords: hydrophytes, adaptation, evolution, morphological adaptations, anatomical adaptations, physiological mechanisms, aquatic ecosystems

Introduction

Aquatic plants occupy a fundamental position in freshwater ecosystems and play a crucial role in maintaining ecological stability. They contribute significantly to biological equilibrium, support habitat formation and ecosystem functioning, and regulate the physicochemical properties of aquatic environments. The remarkable diversity of their growth forms, physiological responses, and morphological structures reflects millions of years of evolutionary adaptation to the unique and often challenging conditions of aquatic habitats, including fluctuations in temperature, variations in light availability, changes in dissolved oxygen concentration, and nutrient dynamics [4, 8, 12]. Beyond their ecological importance, aquatic plants perform numerous ecosystem services, such as oxygen production, nutrient cycling, and biodiversity conservation. They also possess considerable practical value in aquaculture, phytoremediation, bioindication, and the restoration and maintenance of freshwater ecosystems.

A distinctive feature of aquatic vegetation is its broad spectrum of adaptations to hydrological and chemical environmental conditions. Submerged, emergent, and floating macrophytes exhibit diverse strategies for respiration, reproduction, photosynthesis, and survival under various environmental stresses. These plants efficiently absorb nutrients, regulate water balance within their tissues, and rapidly colonize newly available habitats, thereby ensuring population persistence and maintaining aquatic biodiversity. Comparative analysis of the aquatic flora of Azerbaijan and Lake Baikal provides valuable insights into both common and region-specific adaptive mechanisms shaped by environmental variables such as water depth, mineralization, flow velocity, and light availability.

The aquatic environment possesses unique physicochemical characteristics that strongly influence the growth, distribution, and productivity of aquatic vegetation. Among the most influential environmental factors are water density, light penetration, dissolved gas composition, and temperature regime. Together, these parameters exert complex effects on plant morphology, physiology, and ecological distribution.

Water density is one of the most important physical characteristics influencing the structural organization of aquatic plants. Because water provides substantial buoyant support, many hydrophytes are able to maintain an upright position without the extensive development of mechanical tissues that is typical of terrestrial plants. Consequently, aquatic species frequently possess specialized air-filled tissues known as aerenchyma, which enhance buoyancy, facilitate internal gas transport, and maintain optimal positioning within the water column.

Morphological adaptations of aquatic plants

The root system of aquatic plants plays a fundamental role in their adaptation to aquatic environments by ensuring substrate anchorage, nutrient and water uptake, and, in many species, internal gas transport. In contrast to terrestrial plants, the roots of most hydrophytes and emergent aquatic species exhibit distinctive morphological and physiological modifications that have evolved in response to the specific conditions of aquatic habitats.

In completely submerged species, such as *Elodea canadensis* and *Ceratophyllum demersum*, the root system is often greatly reduced and does not primarily function in mechanical support. Instead, roots mainly contribute to nutrient absorption from bottom sediments. These species typically possess delicate, weakly branched roots capable of penetrating soft, organic substrates. In some submerged hydrophytes, nutrient uptake occurs predominantly through the entire plant sur-

face rather than exclusively through the roots, reflecting an important evolutionary adaptation to nutrient acquisition under aquatic conditions [1, 2, 3, 12, 13].

Leaves exhibit considerable structural diversity depending on the degree of submergence and prevailing light conditions. Submerged leaves are generally thin, finely dissected, or filamentous, thereby increasing the surface area available for gas exchange while simultaneously reducing hydrodynamic resistance. In contrast, floating leaves are broader and commonly possess a waxy cuticle that prevents excessive wetting. They frequently contain large intercellular air spaces that provide buoyancy and facilitate efficient exposure of the photosynthetic surface to sunlight [5, 6, 7].

Comparative observations reveal distinct regional differences in leaf morphology. Aquatic plants inhabiting Lake Baikal typically develop elongated and narrow leaves, representing adaptations to oligotrophic conditions, high water transparency, and relatively low temperatures. Conversely, many aquatic plants growing in Azerbaijan possess larger and broader leaves that maximize light interception in shallow waters and enhance nutrient uptake in ecosystems characterized by relatively high organic matter content [9, 10, 11].

Collectively, these morphological characteristics constitute an integrated adaptive system that enhances plant survival and productivity under aquatic conditions. They enable hydrophytes to maintain an upright position within the water column, optimize photosynthetic performance under varying light intensities, withstand hydrodynamic forces, and ensure efficient oxygen transport under hypoxic conditions commonly encountered in submerged sediments [15, 16]. Comparative analysis of the aquatic vegetation of Lake Baikal and Azerbaijan further demonstrates the influence of environmental conditions on morphological evolution. Species inhabiting Lake Baikal are adapted to cold, oligotrophic, and highly transparent waters. They generally possess long, slender root systems, flexible stems with well-developed aerenchyma, and narrow leaves that maximize photosynthetic efficiency under low nutrient availability. In contrast, aquatic plants from Azerbaijan typically occur in warmer, shallower, and nutrient-rich water bodies. These species exhibit shorter, highly branched roots, more rigid stems containing extensive air spaces, and broader leaves, reflecting adaptation to highly productive shallow-water ecosystems.

The morphology of aquatic plants extends beyond individual survival and exerts a profound influence on ecosystem structure and function. Aquatic macrophytes create complex underwater habitats that provide shelter and breeding grounds for numerous aquatic organisms, contribute substantially to oxygen production, support primary productivity, and maintain trophic interactions within freshwater ecosystems. Consequently, the structural organization of roots, stems, and leaves represents not only an adaptation for plant survival but also a key factor in sustaining ecosystem resilience and ecological stability.

Table 1.

Comparative morphological adaptations of aquatic plants in Lake Baikal and Azerbaijan

№	Plant organ	Function	Lake Baikal (cold, oligotrophic water)	Azerbaijan (warm, shallow water)	Adaptive significance
1.	**Roots (submerged species)**	anchorage, nutrient uptake, gas transport	long, thin, weakly branched	short, highly branched	efficient nutrient acquisition and anchorage in different substrate types
2.	**Roots (emergent and helophytic species)**	mechanical stability and aeration	long, robust roots adapted to dense sediments	highly branched roots with extensive absorptive surfaces	adaptation to substrate characteristics and oxygen-deficient conditions
3.	**Stems**	mechanical support and gas transport	long, slender, flexible	short, rigid, resilient	resistance to water currents and wave action
4.	**Aerenchyma**	internal aeration and buoyancy	moderately developed	large intercellular air spaces	enhanced oxygen transport and buoyancy
5.	**Submerged leaves**	photosynthesis and gas exchange	long and narrow	larger and broader	increased photosynthetic surface area
6.	**Floating leaves**	buoyancy and protection	poorly developed	broad leaves with a waxy cuticle	maintenance of leaf position at the water surface
7.	**General adaptive strategy**	survival and ecological performance	adaptation to cold, nutrient-poor environments	adaptation to warm, nutrient-rich shallow waters	maintenance of ecosystem stability and biological productivity

The study was based on a comprehensive review and comparative analysis of published scientific literature concerning the adaptive characteristics of aquatic macrophytes. Morphological, anatomical, and physiological traits of hydrophytic plants were comparatively evaluated using published data from freshwater ecosystems of Azerbaijan and Lake Baikal. The analysis focused on adaptive responses to environmental factors, including water temperature, light availability, nutrient status, dissolved oxygen concentration, and hydrodynamic conditions. Comparative synthesis was performed to identify common evolutionary trends and region-specific adaptive mechanisms.

Results and discussion

The present analysis demonstrates that aquatic plants possess a highly integrated set of adaptive characteristics that have evolved in response to long-term environmental pressures associated with aquatic habitats. These adaptations collectively enhance survival, growth, and reproductive success under conditions of permanent or periodic submergence.

One of the most prominent evolutionary modifications observed in hydrophytes is the extensive development of aerenchyma, a specialized tissue characterized by large interconnected air spaces. This tissue facilitates the internal transport of oxygen from aerial organs to submerged tissues, thereby maintaining aerobic respiration under oxygen-deficient conditions commonly found in aquatic sediments. In addition, aerenchyma contributes significantly to buoyancy, enabling aquatic plants to maintain favorable positions within the water column for efficient light interception and photosynthesis.

The analysis further indicates a substantial reduction in the development of mechanical tissues compared with terrestrial plants. Because water provides continuous physical support, the requirement for rigid supporting tissues is considerably diminished. As a result, hydrophytes allocate fewer resources to structural reinforcement and proportionally more to physiological processes associated with growth, metabolism, and reproduction.

Anatomical examination also reveals important modifications in the epidermal structures of aquatic plants. Fully submerged species generally possess a thin or poorly developed cuticle, reflecting the absence of a need to minimize water loss. Likewise, stomata are either greatly reduced or entirely absent in submerged leaves, whereas species with floating leaves typically exhibit stomata exclusively on the adaxial (upper) leaf surface. This arrangement optimizes gas exchange with the atmosphere while preventing stomatal blockage by water.

Another significant adaptive feature is the partial reduction of the root system in many submerged hydrophytes. In these species, roots no longer serve as the principal organs of nutrient acquisition. Instead, dissolved minerals and water are absorbed efficiently through the entire plant surface, including stems and leaves. Such an adaptation substantially increases resource-use efficiency in aquatic environments where nutrients are directly available in the surrounding water.

Physiological analysis demonstrates that hydrophytes possess remarkable tolerance to oxygen deficiency, fluctuations in light intensity, and variations in water chemistry. Numerous species have evolved metabolic mechanisms that maintain photosynthetic activity and cellular respiration even under conditions of limited oxygen availability. These physiological adjustments ensure continuous growth and metabolic stability despite substantial environmental variability.

The comparative evaluation of aquatic vegetation from Lake Baikal and Azerbaijan further highlights the influence of regional environmental conditions on adaptive evolution. Although both floras exhibit the fundamental characteristics typical of hydrophytes, species from Lake Baikal show adaptations associated with cold, oligotrophic, and highly transparent waters, whereas Azerbaijani aquatic plants display morphological and physiological traits characteristic of warm, nutrient-rich, shallow-water ecosystems. These differences illustrate the considerable ecological plasticity of aquatic plants and demonstrate the role of local environmental conditions in shaping evolutionary trajectories [14].

Overall, the findings indicate that the combination of morphological, anatomical, and physiological adaptations enables aquatic plants to occupy a wide range of ecological niches and maintain stable populations across diverse freshwater ecosystems. The observed adaptive strategies are the result of prolonged evolutionary specialization and constitute the biological basis for the ecological success of hydrophytes in aquatic environments.

The obtained results are consistent with the findings of Raven et al. [10], who emphasized that aerenchyma development represents one of the most efficient evolutionary responses to oxygen deficiency in aquatic habitats. Similarly, Taiz et al. [11] reported that the reduction of mechanical tissues allows aquatic plants to allocate greater metabolic resources to growth and reproduction.

Conclusion

Aquatic plants represent one of the most highly specialized ecological groups within the plant kingdom, having undergone extensive evolutionary modifications in response to the unique conditions of aquatic habitats. Their successful adaptation is reflected in a coordinated complex of morphological, anatomical, and physiological characteristics that collectively optimize survival, resource acquisition, gas exchange, and reproduction under submerged conditions.

The study demonstrates that the reduction of mechanical tissues and root systems, the development of aerenchyma, specialized leaf morphology, and highly efficient physiological mechanisms constitute key evolutionary adaptations that distinguish hydrophytes from terrestrial plants. These modifications not only enhance individual plant fitness but also contribute substantially to ecosystem functioning by promoting primary productivity, oxygenation, nutrient cycling, and habitat formation.

Comparative analysis of aquatic vegetation from Azerbaijan and Lake Baikal further emphasizes the influence of environmental factors – including water temperature, nutrient availability, hydrological conditions, and light regime – on the development of region-specific adaptive strategies. Despite these regional differences, the fundamental evolutionary mechanisms underlying adaptation remain remarkably consistent across hydrophytic species.

In conclusion, the adaptive characteristics of aquatic plants represent the outcome of long-term evolutionary specialization and illustrate the remarkable capacity of plants to respond to diverse environmental pressures. A comprehensive understanding of these adaptive mechanisms is essential for the conservation, restoration, and sustainable management of freshwater ecosystems, particularly in the context of ongoing climate change and increasing anthropogenic impacts on aquatic environments.

The present study demonstrates that the adaptive evolution of aquatic plants is driven by the combined influence of morphological, anatomical, and physiological modifications that maximize ecological fitness under hydrophytic conditions. Comparative analysis of the floras of Azerbaijan and Lake Baikal confirms that local environmental factors determine the degree of adaptive specialization while preserving the fundamental evolutionary mechanisms common to aquatic plants. These findings contribute to a broader understanding of plant adaptation and provide a theoretical basis for biodiversity conservation and freshwater ecosystem management under ongoing climate change.

References

1. Abaev V.V. (2018). *Plant Ecology*. Moscow: Akademiya, 352 pp. (in Russian)

2. Botany: textbook for universities /ed. A.K. Timonin (2020). Moscow: Akademiya Publishing Center, 512 pp. (in Russian)

3. Goryshina T. K. (2017). *Plant Ecology*. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 368 pp. (in Russian)

4. Zhukovsky P. M. (2016). *Botany*. Moscow: Vysshaya Shkola, 559 pp. (in Russian)

5. Larcher W. (2015). *Plant Ecology* / translated from German. Moscow: Mir, 506 pp. (in Russian)

6. Odum Y., Barrett G. (2019). *Fundamentals of Ecology*. Moscow: Binom, 824 pp. (in Russian)

7. Rabotnov T. A. (2014). *Phytocenology*. Moscow: Moscow University Press, 352 pp. (in Russian)

8. Afandiyeva Shakhla. (2024) Adaptation degrees of higher aquatic vegetation to global warming conditions. *German İnternational Journal of Modern Science*. Germany, p 8-11, №91.

9. Alosmanova V., Asadova K., Mammadova Z. (2025). Phytocoenoses formed by species of the genus Trigonella L. in the flora of Azerbaijan. III İnternational Apitherapy and Nature Congress. İnstitute of Botany of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. pp.287-289

10. Raven P. H., Evert R. F., Eichhorn S. E. (2013). Biology of Plants. - 8th ed. - New York: W. H. Freeman and Company, - 900 p.

11. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. (2015) Plant Physiology and Development. - 6th ed. - Sunderland: Sinauer Associates. - 761 p.

12. Sculthorpe C. D. (1967). The Biology of Aquatic Vascular Plants. - London: Edward Arnold. - 610 p.

13. Wetzel R.G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems. - 3rd ed. - San Diego: Academic Press - 1006 p.

14. Hutchinson G.E. (1957). A Treatise on Limnology. Vol. 1. Geography, Physics and Chemistry. - New York: Wiley, - 1015 p.

15. Mammadova A., Ismayilov N., Mammadova R. The role of systemic bio-diagnostic in stabilizing and improving the ecological state in Azerbaijan within the framework of sustainable development. Baku State University Journal of Life Sciences & Biology 2024, v.1 (3), p. 1-6 https://doi.org/10.30546/300045.2024.1.3.6

16. Mammadova Z. Phytocenosis found in the leguminous valley meadow vegetation in the winter pastures of the Mil-Karabakh massif (Beylagan and Agjabadi) of Azerbaijan, their species composition and effective use. Baku State University Journal of Life Sciences & Biology 2025, v.2(1), p. 10-21. https://doi.org/10.30546/300045.2025.2.1.2007

BİOSYNTHESİS OF PLANT ALKALOİDS

Asadova Basti Goshun
Azerbaijan State Pedagogical University
Ismayilova Zarifa Rasul
Azerbaijan State Pedagogical University
DOI: 10.5281/zenodo.21471590

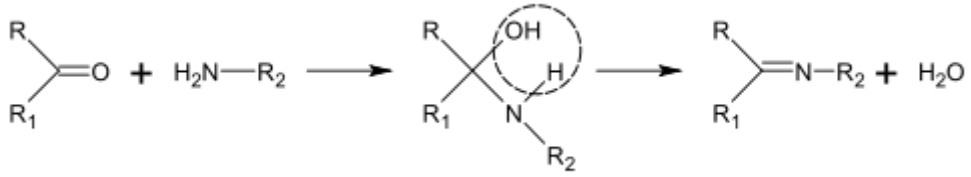
Abstract
The plant world is rich in various biologically active substances with therapeutic effects. One of them is alkaloids. Complex nitrogen-containing organic compounds obtained from plants, having alkaline properties, forming salts compatible with acids and highly physiologically active, are called alkaloids. The name of these compounds is derived from the Arabic word "alkali" - "base" and the Greek "eidos" - "similar", that is, a substance similar to alkali. Simple nitrogen compounds (methylamine and other amines), as well as amino acids, do not belong to alkaloids. However, tyramine and betaines (staxydrine, trigonelline, etc.) are transitional forms and are often considered alkaloids. In addition to carbon, hydrogen and nitrogen atoms, alkaloids can sometimes contain sulfur, and in very rare cases chlorine, bromine or phosphorus atoms.It is the nitrogen atom in their molecule that gives alkaloids their basic properties. In alkaloids, the nitrogen atom can be in most cases a heteroatom, and sometimes an amino nitrogen.

Keywords: plant alkaloids, alkaloid biosynthesis, nitrogen-containing compounds, amino acids, Schiff base, Mannich reaction, Pictet–Spengler reaction, heterocyclic compounds, methylation, plant secondary metabolites.

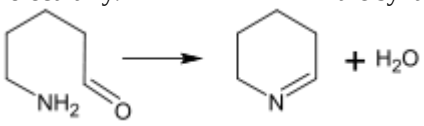
All the properties of organic bases are characteristic of alkaloids. Thus, as a rule, they are easily soluble in organic solvents in the basic form, and in water they give soluble salts. Alkaloids are synthesized by many living organisms. They are most often found in higher plants. Alkaloids have been found in 10-25% of higher plants found in nature. Alkaloids are also found in some animals. An example of this is the bufotenine alkaloid found in the skin of some frogs. .[7,8]The psilocybin alkaloid has also been found in mushrooms of the genus Psilocybe. Biogenic amines such as adrenaline and serotonin, which play an important role in human and animal organisms, are very close to alkaloids in terms of their structure and similarity in biosynthesis. The complete synthesis of alkaloids was carried out by the German chemist Albert Ladenberg in 1886 for the coniine alkaloid.Usually, the first precursors for the synthesis of alkaloids are always amino acids. Ornithine, arginine, lysine, phenylalanine, histidine, anthranilic acid, aspartic acid, tyrosine and tryptophan are most involved. Except for anthranilic acid, other amino acids are proteinogens. Nicotinic acid can be synthesized from tryptophan or aspartic acid. The biosynthesis of alkaloids is as diverse as their structures. Therefore, it is impossible to place the biosynthesis in a single general scheme. However, despite all the difficulties, there are characteristic reactions involved in the biosynthesis of alkaloids belonging to different groups:

- Formation of Schiff base; - Mannix reaction.

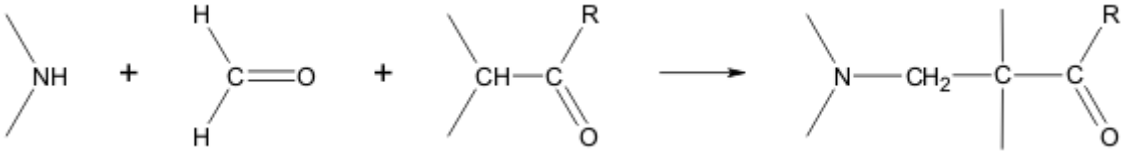
Schiff base can be formed as a result of the reaction of amines with ketones or aldehydes. This reaction is the most common method that plays a role in the formation of the C=N bond.



The base formation reaction in alkaloid biosynthesis can also occur intramolecularly. An example of this is the formation of 1-piperidine during the synthesis of the piperidine ring.



In addition to amine and carbonyl compounds, the Mannix reaction also involves a carbanion, which is formed as a result of the interaction of amine and carbonyl compounds and plays the role of a nucleophile in the ionization process.



The Mannix reaction can occur both intermolecularly and intramolecularly. An example of an intramolecular Mannix reaction is the synthesis of the pyrrolizidine nucleus.The Pictet-Spengler reaction is a variant of the intramolecular Mannich reaction, in which the Schiff base is cyclized with the formation of a tetrahydroisoquinoline system from phenylethylamine. In plants, the biosynthesis of alkaloids always occurs under the influence of enzymes. However, in animals, the synthesis of isoquinoline alkaloids without the participation of enzymes has been observed. At this time, two consecutive stages occur: the formation of the Schiff base from catecholamines and aldehydes; the Pictet-Spengler reaction. Both reactions can occur in a physiological environment without the participation of enzymes. Usually, the synthesis of alkaloids without the participation of enzymes occurs when the body's metabolism is disturbed and during intoxications, when an unspent and excess amount of amines or aldehydes is observed in the body. Unlike terpenoids and polyphenol compounds, alkaloids are not attributed to their biogenetic properties, but to their formal chemical characteristics and the presence of a nitrogen atom in their molecule, which is why they have a basic property. .[2,5,6,11] Due to their biogenetic origin, not all alkaloids are homogeneous, therefore it is impossible to establish a biosynthetic mechanism common to all alkaloids. However, there are some characteristic universal principles for the formation of alkaloids. This is due to the fact that for most alkaloids, the molecule contains either a simple five- or six-membered heterocycle containing a nitrogen atom, such as pyridine, pyrrolidine, or piperidine, or such simple N-heterocycles condense with other carbo- and heterocycles to form more complex, often polycyclic structures. The initial reaction in biosynthesis is most often the decarboxylation, oxidative deamination, or peramination of the amino acid or their corresponding amines involved in the synthesis. Then, direct transmethylation of the resulting intermediates is usually observed, and then the conversion of the aliphatic chain of the precursor into various hetero- and carboxyl-structured cycles is observed.[1,3,4,9] At any stage in the biosynthesis of alkaloids, the chemical structure can become more complex by introducing an additional methyl group into the compound. This process is most often observed when the precursors are in the aliphatic state. Methylation is considered an important moment in the biosynthesis of alkaloids. Thus, methylation not only initiates cyclization and condensation, but also regulates the course of these processes. The ring closure depends on the position of the CH3 group in the molecule in the precursors, which initiates the carboxylation or heterocyclization of the fragment of the alkaloid molecule. In the formation of alkaloids, reactions that occur with the participation of the nitrogen atom of the amino acid combined with the aliphatic bond, which lead to the formation of an N-heterocyclic structure from cyclization processes, are of universal importance. As a result, the formation of a C-N- bond occurs. Such a bond can be caused by various intermolecular and intramolecular reactions. However, the more important reaction is the formation of azomethines (Schiff base) and the Mannix condensation type reaction.Azomethines are formed spontaneously or enzymatically from compounds containing amine and carboxyl groups (scheme I). Amines involved in the formation of Schiff bases are usually synthesized as a result of decarboxylation of amino acids, while carbonyl compounds are most often formed from amines as a result of transamination and oxidative deamination. .[10,12] In the biosynthesis of alkaloids, a limited number of cyclization and intramolecular grouping options are often combined with additional functional groups and derivatives at different stages of biosynthesis, which is why a variety of alkaloid types are found in nature. An important stage in the biosynthesis of any alkaloid is the primary cyclization of their aliphatic precursors, which leads to the formation of simple nitrogen-containing heterocycles. From them, various combinations of the main cyclic nucleus of these compounds are built. The presence of the corresponding heterocyclic structure in the structure of the molecule is the basis for the classification of alkaloids.

References

1. Асадова, Б. Г. (2020). Роль фермента глюкозы-6-фосфатдегидрогеназы в адаптации растений к соленым условиям. *Spirit Time*, (1-1), 6-9.

2. Huseynova, N., & Asadova, B. (2024). Study of the Genome Diversity of Cornus L. and Mespilus L. *Cultivated in the Northern Regions of Azerbaijan*.

3. Basti, A., & Aslanova, F. (2024). THE RELATİVE DORMANCY OF NEWLY İNTRODUCED PEACH CULTİVARS CHARAC-TERİSTİC. *Annali d'Italia №*, *60*(10).

4. Yusifova, A., Aslanova, S., & Asadova, B. (2024). Mycology of Fodder Plants in Different Areas of Azerbaijan the Results of Studies Devoted to the Evaluation. *Бюллетень науки и практики*, *10*(10), 49-54.

5. Basti, A. (2022). The effect of salt solutions on the DMDH enzyme activity in the Hordeum vulgare primary incubation. *Бюллетень науки и практики*, *8*(10), 96-100.

6. Asadova, B. G. (2020). Infuence of short-period incubation of barley sprouts at Na-isocationied soil solutions to the activity of DMDH ferment. *Int J Botany Stud*, *5*(5), 73-76.

7. Юсифова, А. А., Алекберова, С. А., & Асадова, Б. Г. (2020). Статистические показатели пациентов с большой и промежуточной β-талассемией в разных регионах Азербайджана. *Бюллетень науки и практики*, *6*(11), 242-247.

8. Qoshun, A. B. (2024). CHANGES İN THE ACTİVİTY DYNAMİCS OF NADPH SYNTHESİS İN CHİCKPEA SEEDLİNGS UNDER SALT STRESS CONDİTİONS. *German International Journal of Modern Science/Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*, (82).

9. Asadova, B. (2023). Механизм устойчивости растений гороха к Na2SO4. *Bulletin of Science and Practice*, *9*(2).

10. Basti, A. (2023). EFFECTS OF NACL SALT STRESS ON BIOMETRIC PARAMETERS IN PISUM VARIETIES. *Бюллетень науки и практики*, *9*(4), 125-130.

11. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2024). SPECIES COMPOSITION AND RESOURCES OF CULTIVATED AND WILD FORAGE PLANTS IN AZERBAIJAN. *German International Journal of Modern Science/Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*, (84).

12. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2025). Evaluation of Phytopathogenic Fungi According to the Degree of Danger. *Advanced Studies in Biology*, *17*(1), 27-36.

PATHOGENIC MYCOBIOTA IN PLANT ECOSYSTEMS OF AZERBAIJAN AND ITS SCIENTIFIC STUDY

Asadova Basti Goshun
Azerbaijan State Pedagogical University,
Gafarova Parvin Muhamed
Azerbaijan State Pedagogical University
DOI: 10.5281/zenodo.21471661

Abstract

The article examines plant pathologies caused by phytopathogenic fungi in various ecosystems of Azerbaijan. Particular attention is paid to the distribution of micromycetes in agrocenoses, forest ecosystems, and natural plant communities, as well as their impact on cultivated and wild plants. The study analyzes major fungal diseases, including rust, powdery mildew, fusariosis, tracheomycosis, anthracnose, necrosis, and rot. The article emphasizes the importance of continuous phytosanitary monitoring under conditions of climate change and anthropogenic pressure. The obtained results are significant for assessing mycological safety and developing effective plant protection measures.

Keywords: phytopathogenic fungi, mycobiota, Azerbaijan, plant diseases, micromycetes, phytosanitary monitoring, agrocenoses, forest ecosystems, fusariosis, rust, powdery mildew.

Monitoring the phytosanitary condition of plant ecosystems against the background of global climate change and anthropogenic impacts is one of the most important tasks facing modern biology and agrarian sciences. The existence of different agro-ecological zones and rich vegetation cover in Azerbaijan create favorable conditions for the spread of phytopathogenic fungi (micromycetes) and the formation of specific pathologies. This study analyzes the patterns of spread of fungal pathologies in cultivated and wild plants in the republic, the degree of damage, and the current state of research conducted by local scientific institutions.The fact that the nature of the Republic of Azerbaijan is also under the influence of the changing ecological conditions of the increasingly globalized world, and the qualitative changes in the country's economy as a result of Azerbaijan's restoration of independence in 1992, necessitated a review of the measures taken in connection with these phytopathological studies. Thus, as a result of changes such as the country's transition to a market economy, the transfer of land to private ownership, and the replacement of collective and state farms by private farms, the place of a number of state organizations that were supposed to monitor the phytosanitary condition of the country was not determined in time in the newly formed economic system, the collapse of the communication mechanism intended to ensure their material and technical base, and the impossibility of creating a new one in a short time, made those organizations virtually inactive. All this significantly increased the likelihood of the spread of diseases and the emergence of new diseases. Among them, diseases caused by fungi are of particular importance both in terms of their distribution area and their danger. Because fungi differ from other microorganisms (bacteria) that are carriers of pathology in terms of their biological activity and the number of pathologies they cause, as well as from organized particles (viruses)[4,2].Before proceeding to the analysis of mycological studies conducted in Azerbaijan, which has a rich vegetation cover[9] and forests occupy up to 11% of its territory[14], it would be appropriate to dwell on one issue. In general, pathologies caused by fungi were studied in the context of mycological studies conducted until the middle of the last century and the results obtained were presented together. However, over time, in accordance with the level of development of science, studies began to be grouped according to the nature of studies, so that similar cases did not bypass Azerbaijan, and studies in this direction began starting from the middle of the second half of the last century.

Methodology. The research work was based on disease materials collected from various botanical-geographical regions of Azerbaijan (Greater and Lesser Caucasus, Talysh mountainous zone, Kura-Araz lowland). Route and stationary methods, classical mycological analyses (obtaining pure culture, microscopy) and modern molecular-genetic (PCR) analyses were used to identify pathogens. The taxonomic structure and phytotoxic activity of fungi were evaluated in laboratory conditions.

From the results of research conducted in this field, it can be concluded that in Azerbaijan, the causative agents of diseases such as rust, downy mildew, powdery mildew, trachymycosis, anthracosis, Dutch disease, cancer, necrosis, wilting (verticellosis), leaf curl, etc. are considered relatively widespread, and the biotopes in which they are spread include both natural (forests) [1, 5-6, 17,19] and artificial (agrophytocenoses, biosphere reserves, parks, etc.) [3,5,7]. In studies conducted with trees common in artificial and natural forests, it was determined that Cylindrocarpon willkommi(Lindau)Wolenw. (telemorph- Nectria ditissima Tul.), Microsphera alphitoides Griff. & Maubi., Gloeosporium quercinum West. Nummularia bouillardi Tul. are carriers of the most dangerous pathology for the main tree species - trachymycosis, and the morphological signs of a number of their species (Ceratocystie roboris, C.ulmi, C.castanese) vary depending on the nutrient environment [9,18]. Studies conducted on the study of pathologies observed in fruit trees growing in the territory of Azerbaijan can be considered more extensive both in number and scope. From studies conducted in this direction, it was found that the number of diseases associated with fruit

plants is more than 50. Among these diseases, the most dangerous are alternariosis in figs (caused by Alternaria fici Farn.), powdery mildew (Oidium erysiphoides Fr.), phyllosticosis, and leaf curling in stone fruits (Taphrina deformans (Berk.) Tul.), powdery mildew (Sphaerotheca pannosa (Wall.) Sacc.) and others (root rot, fruit rot). Fungal species such as Cylindrocarpon radicicola Wr., Fusarium oxysporum Schlecht., Gliocladium verticilloides Pidopl. are more actively involved in the development of root rot. Although the causative agents of these diseases belong to different taxonomic groups, in terms of their trophic relationships, the representatives belonging to biotrophs are more numerous [6]. The mycobiota of dry subtropical plants such as figs, almonds, pistachios, sycamores and innab have been studied for their taxonomic structure, frequency of occurrence, pathologies caused by them and their degree of spread, as well as phytotoxic activity. It has been determined that the mycobiota of subtropical fruit plants such as figs, figs, almonds, pistachios and peanuts includes 89 species, which, according to their taxonomic affiliation, belong to 52 genera, 5 classes, 15 orders and 21 families of 4 subphyla (Zygomycota, Ascomycota, Basidiomycota and Deuteromycota) of the kingdom of fungi (Mycota). 3 of the fungal species included in the mycobiota of the studied dry subtropical fruit plants (Aspergillus versicolor (Vuill.) Tiraboschi, Ascochyta fagi Woronich and Coniofora puteana (Fr.) Karst) were recorded for the first time for the mycobiota specific to the nature of Azerbaijan[2].There are certain research works on the study of cultivated plants in Azerbaijan, and from these studies it is clear that a certain part of the above-mentioned dangerous pathogens has also spread in Azerbaijan and causes a decrease in the productivity of this or that plant. For example, as a result of the conducted research, the mycobiota of fungi spread in Absheron was comprehensively studied in terms of its taxonomic structure, frequency of occurrence on host plants, activity of hydrolytic enzymes and phytotoxic properties, and it was determined that the mycobiota of cultivated plants studied in Absheron includes 86 species of fungi and fungus-like organisms, 81 of which belong to the Mycota and 5 to the Chromista kingdoms. The recorded fungi cause various diseases (spotting, fusarium, wilting, rot, rust, powdery mildew, phytophthora, etc.) in plants cultivated in Absheron, and the prevalence of these diseases is between 1.35-43.2% [10,11,20].Vegetable and melon plants cultivated in different zones of Azerbaijan were also analyzed for the species composition of their mycobiota, as well as for the transmission of pathologies through seeds, a number of fungal species prevalent in these plants were described, and the prevalence of new species for the Azerbaijani mycobiota was also revealed[12]. In addition, diseases caused by fungi in some agricultural plants cultivated in Azerbaijan were identified[14.15] and the dynamics of the spread of some of them were studied.When analyzing the results of some studies, it became clear that the phytopathogenic activity of fungi in cereal plants is related to the various diseases they cause, and the most common fungal diseases were determined to be root rot, fusarium, septarium, white rot, rust, powdery mildew, various types of spotting, wilting, etc. It has become clear that the mycological status of a number of agrophytocenoses currently used for the cultivation of agricultural crops in Azerbaijan is not yet very dangerous, but the increasing prevalence of a number of diseases[13] and the lack of advanced regulatory documents that allow for a comprehensive assessment of the danger of fungi can make it inevitable that the situation will change at any time. In addition, other studies have also provided information on the mycobiota of plants cultivated in Azerbaijan, for example, the characterization of cereal plants such as wheat, barley, and corn as a place where microorganisms themselves and their metabolites accumulate in both “wild” and storage conditions[12], the presence of medicinal and essential oil plants cultivated in Azerbaijan among the substrates where fungi settle, the dominance of northern, i.e. boreal elements in the formation of mycobiota specific to Azerbaijan, etc. are examples of this.

Main results. As a result of monitoring, it was determined that in agricultural plants (especially in cereals, subtropical and riverine plants) rust (Puccinia), downy mildew (Ustilago), fusarium (Fusarium) and various micromycetes causing spotting cause the most dangerous pathologies from an economic point of view. In forest ecosystems (mainly in endemic Hyrcanian forests), the process of drying and degradation of trees has accelerated as a result of the wood-decomposing activity of xylotrophic fungi. Within the framework of the study, the composition of the regional mycobiota was updated, and pathogenic species new to the Azerbaijani flora were recorded on some plants and included in the official herbaria.

References

1. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2025). Evaluation of Phytopathogenic Fungi According to the Degree of Danger. *Advanced Studies in Biology*, *17*(1), 27-36.

2. Асадова, Б. Г. (2020). Роль фермента глюкозы-6-фосфатдегидрогеназы в адаптации растений к соленым условиям. *Spirit Time*, (1-1), 6-9.

3. Huseynova, N., & Asadova, B. (2024). Study of the Genome Diversity of Cornus L. and Mespilus L. *Cultivated in the Northern Regions of Azerbaijan*.

4. Basti, A., & Aslanova, F. (2024). THE RELATİVE DORMANCY OF NEWLY İNTRODUCED PEACH CULTİVARS CHARACTERİSTİC. *Annali d'Italia №*, *60*(10).

5. Yusifova, A., Aslanova, S., & Asadova, B. (2024). Mycology of Fodder Plants in Different Areas of Azerbaijan the Results of Studies Devoted to the Evaluation. *Бюллетень науки и практики*, *10*(10), 49-54.

6. Basti, A. (2022). The effect of salt solutions on the DMDH enzyme activity in the Hordeum vulgare primary incubation. *Бюллетень науки и практики*, *8*(10), 96-100.

7. Asadova, B. G. (2020). Infuence of short-period incubation of barley sprouts at Na-isocationied soil

solutions to the activity of DMDH ferment. *Int J Botany Stud*, *5*(5), 73-76.

8. Юсифова, А. А., Алекберова, С. А., & Асадова, Б. Г. (2020). Статистические показатели пациентов с большой и промежуточной β-талассемией в разных регионах Азербайджана. *Бюллетень науки и практики*, *6*(11), 242-247.

9. Qoshun, A. B. (2024). CHANGES İN THE ACTİVİTY DYNAMİCS OF NADPH SYNTHESİS İN CHİCKPEA SEEDLİNGS UNDER SALT STRESS CONDİTİONS. *German International Journal of Modern Science/Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*, (82).

10. Asadova, B. (2023). Механизм устойчивости растений гороха к Na2SO4. *Bulletin of Science and Practice*, *9*(2).

11. Basti, A. (2023). EFFECTS OF NACL SALT STRESS ON BIOMETRIC PARAMETERS IN PISUM VARIETIES. *Бюллетень науки и практики*, *9*(4), 125-130.

12. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2024). SPECIES COMPOSITION AND RESOURCES OF CULTIVATED AND WILD FORAGE PLANTS IN AZERBAIJAN. *German International Journal of Modern Science/Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*, (84).

13. Gurbanov, E. M., Sh, A. S., & Asadova, B. Q. (2023). PHYTOECOLOGICAL RESEARCH ON OIL-CONTAMINATED SOILS OF "SHIRVANNEFT" OIL AND GAS DEVELOPMENT AREA AND ITS RECULTIVATION (AZERBAIJAN). *Труды Мордовского государственного природного заповедника им. ПГ Смидовича*, (33), 172-183.

14. Aslanova, S. (2023). New Locations of Some Plant Species in the Mountain Part of Yardimli, Lerik and Astara Districts (Azerbaijan). *Bulletin of Science and Practice*, *9*(1), 55-59.

15. Aslanova, S., & Asadova, B. (2023). Flora and fauna of Azerbaijan. *ASPU. Baku. P-347*.

16. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2024). Plants, Human Health And Civilization. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, *136*, 6-10.

17. Aslanova, S. (2023). Petrosimonieta brachiatae and Suaedeta confusae formations distributed in the territory of Azerbaijan. *AS-Proceedings*, *1*(5), 3.

18. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2025). Evaluation of Phytopathogenic Fungi According to the Degree of Danger. *Advanced Studies in Biology*, *17*(1), 27-36.

19. Юсифова, А., Асланова, С., & Асадова, Б. (2025). ОЦЕНКА МИКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ АЗЕРБАЙДЖАНА. *German International Journal of Modern Science/Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*, (99).

20. Yusifova, A., Asadova, B., & Aslanova, S. (2024). General Characteristics of Azerbaijan Forage Plants and Their Mycobiota and Mycological Safety Principles Applied During Use. *Бюллетень науки и практики*, *10*(8), 66-74.

ECONOMIC SCIENCES

SMALL BUSINESS AND THE KEY ASPECTS OF REAL OPPORTUNITIES FOR OVERCOMING POVERTY

Babunashvili E.
Associate Professor, Central University of Europe, Georgia
Kipiani M.
Associate Professor, Central University of Europe, Georgia
DOI: 10.5281/zenodo.21471720

Abstract

In the contemporary world, poverty alleviation remains one of the most important and pressing challenges among global issues. To this day, poverty remains one of the defining characteristics of developing countries. Unstable and low levels of income, as well as the insufficient scale of investment (both domestic and foreign), considerably impede the development of the real sector of the economy and income growth. The two most important priorities of our nation's development strategy are the peaceful restoration of territorial integrity and the full elimination of poverty. The support, expansion, and development of small businesses are widely regarded as key factors in poverty reduction. In the economic system, small businesses play a vital role in ensuring employment, generating stable incomes, and enhancing the welfare and quality of life of the population. Owing to its diversity and multifaceted nature, the small business sector attracts a substantial share of the population. Therefore, the government plays a crucial role in this field through its support for various initiatives, the provision of financial assistance, and the introduction and implementation of economic reforms, legal measures, and simplified regulatory policies.

Despite the notable positive developments in these areas, a life free from poverty remains a major challenge, and substantial efforts are still needed in the country to achieve its full eradication. It should also be noted that a range of international and non-governmental organizations are actively engaged in the implementation of business projects.

Keywords: social environment, poverty, small business, government support.

Small business has undergone several stages of development and has played a significant role in economic development, as well as in employment generation and the substantial growth of incomes. Due to its diverse nature and scope, it attracts a significant share of the population. Accordingly, the government consistently strives to actively support its development through the implementation of various state programs and projects, offering both full and partial financing, and improving accessibility by simplifying legislative and regulatory frameworks. In recent decades, a range of governmental projects and support programs has been actively carried out and implemented. Support implemented by international and non-governmental organizations also occupies a significant place in this process. To this day, there are various governmental programs across different sectors in which poverty reduction is regarded as a priority issue for the country.

Since 2012, special emphasis has been placed on supporting small and medium-sized enterprises, when the “Produce in Georgia” program was actively initiated. A substantial number of interesting, successful, and innovative projects have been carried out.

The following state programs for entrepreneurship and business support are currently implemented in Georgia:

1. Small Grants for Pilot Regions – GEL 30,000 (with the objective of enhancing the competitiveness of pilot regions);
2. Co-financing Program for Innovative Entrepreneurship (with the objective of promoting innovation, encouraging the establishment of innovative enterprises, and facilitating their integration into the economy; GEL 100,000) ;
3. Business Universal – aimed at the establishment of new enterprises, the expansion and modernization of existing businesses, and the improvement of private sector competitiveness. This large-scale program offers grants ranging from GEL 50,000 to GEL 10,000,000;
4. Eco and Agrotourism Industry – implemented by the “Produce in Georgia” agency – aimed at the development of tourism through the enhancement of various services and the provision of financial support; It is noteworthy that eco- and agrotourism enterprises are defined as farms that host tourists, utilize their own produced goods, and provide a range of specified services;
5. Hotel and balneological resort industry (“Produce in Georgia”) – aimed at the development of tourism and related services in the country, as well as the provision of financial support;
6. Tourism Services Industry (“Produce in Georgia”) – a program for the development of tourism and related services and the provision of financial support, with a focus on thematic packages and adventure tourism segments ;
7. Credit Guarantee Mechanism (“Produce in Georgia”) – designed to provide credit guarantees for viable small and medium-sized enterprises that are unable to satisfy collateral requirements for loans;
8. Micro and Small Entrepreneurship (“Produce in Georgia”) – a program designed to support the establishment and expansion of micro and small businesses

and to promote the improvement of local product quality (grant funding of GEL 30,000);

9. Innovative Business ("Startup Georgia") – offers an opportunity for Georgian diaspora members living abroad to implement innovation-oriented business ideas and establish their own businesses (grant funding ranging from GEL 15,000 to GEL 100,000) ;

10. Co-financing Grants for Startups – designed to support the development and commercialization of innovative products and services with international potential, with funding of up to GEL 150,000;

11. Small Grants Program – Prototyping Grants – aimed at supporting the development of prototypes of innovative products and services with commercialization potential;

12. igh-Tech Business Support ("Startup Georgia") – aimed at supporting high-tech business ideas, with funding of GEL 100,000;

13. "Shoot in Georgia" ("Produce in Georgia") – a program for film production companies interested in filming in Georgia, providing a 20–25% rebate on eligible production costs;

14. Invest in Georgia ("Produce in Georgia") – acts as an intermediary between foreign investors and the Government of Georgia, providing access to updated information and facilitating effective communication with government authorities.

Despite numerous challenges, the development of small business, over time and after meeting a range of preconditions—including liberal business start-up policies, the adoption of new regulatory and legal frameworks, and various forms of government support and assistance—has succeeded in securing an important role in the country's economic development. Based on a brief analysis of key economic indicators of the business sector over the past five years, it can be concluded that the small business sector is actively engaged in the economic development of Georgia; however, this level of involvement remains insufficient to achieve a significant reduction in poverty rates. In addition to economic development, particular emphasis is placed on the fact that small business performs an important function which, from a moral and social perspective, is no less significant than its economic role. This is reflected in the concept of "social stability of society" (Makatsaria, N., 2022).

People living in poverty cannot actively participate in public life, as they do not have sufficient financial resources, income, or means of subsistence. Therefore, it is necessary to identify these means, which are primarily associated with job creation. "In Georgia, poverty is defined using several indicators, including registered and relative poverty rates. The registered poverty rate provides the most accurate representation, as it includes the population receiving state subsistence assistance (Giorgashvili, A., 2023).

In 2023, the Social Justice Center conducted a study in Georgia focusing on targeted social assistance. The objective of the study was to maximize the realization of the potential for poverty alleviation and to ensure the active utilization of relevant resources. To begin with, it should be stated that the targeted social assistance programs implemented in Georgia are regarded as some of the most effective social support programs. However, the study also highlights that the program is continuously being improved and adjusted, incorporating relevant changes that became more clearly evident during the implementation and research process.

There is a high level of public interest in targeted social assistance and social protection. As of November 2023, a total of 375,286 households (1,206,980 individuals) were registered in the program database, accounting for 35.2% of all households in the country and 32.4% of the population (statistical data from the Social Service Agency).

It is also noteworthy that this number has continued to increase over the years. At the same time, a trend has been identified indicating that state-provided social assistance aimed at poverty eradication tends, in most cases, to foster dependency on social assistance rather than improving living conditions. Individuals tend to become accustomed to receiving social assistance, which diminishes their motivation to seek employment, while interest in improving living conditions decreases.

The country possesses long-standing traditions and extensive experience in agricultural practices, along with well-developed competencies and a diverse range of farming activities tailored to local climatic conditions and natural environments. Long-established traditions, norms, and practices concerning the care, conservation, and sustainable use of flora and fauna characterized by national and ethnic diversity. The country possesses significant potential for the development and effective utilization of its tourism and recreational resources. This is particularly relevant today, as rural recreation, eco-tourism, and agro-tourism are experiencing strong and growing demand. Traditional Georgian hospitality and national cuisine constitute key factors in the development of small-scale family hotels, while farm-based holdings and small family enterprises may serve as additional sources of income for the establishment and operation of such accommodations. In order to address poverty, the state should draw upon the extensive international experience accumulated by various countries, which may contribute to the effective reduction of existing levels of poverty. Many countries worldwide derive a significant share of their income from the development of tourism and the diversification of tourism-related services. In this respect, Georgia possesses substantial and diverse potential. It can be stated that there is a positive trend in the growth of small business in Georgia, which is reflected in the increasing number of employed individuals and the rise in average monthly wages. Despite the implementation of a range of successful state support programs and the corresponding positive outcomes, poverty continues to remain a major challenge in the country. Considerable efforts are still required to address this issue, with particular attention needed to be given to the rural population. In this regard, alongside social assistance and welfare benefits, it is deemed essential to prioritize the creation of employment opportunities. Research materials conducted by the Civil Society Institute and the Social Service Agency indicate that a considerable proportion

of the population has become reliant on social assistance and is no longer actively seeking additional sources of income through employment opportunities, which, in our view, represents an undesirable attitude and negative trend. This is not and cannot be a way to reduce poverty. It can only contribute to the temporary and limited alleviation of poverty. The primary objective remains to provide substantially greater support to small and medium-sized enterprises in order to generate additional employment opportunities. Only the expansion of a real and active economic sector can contribute to the alleviation of poverty and its eventual eradication over time.

References

1. Giorgashvili, A. (2017) "Goal No. 1 – Eradication of All Forms of Poverty," Institute for Development of Freedom of Information, September 2017, Tbilisi.
2. Makatsaria, N. (2022) "Small Business and Social Stability of Society," Shota Meskhia Zugdidi State University, Scientific Conference.
3. Civil Society Institute, (2012) "Models for Overcoming Rural Poverty" (Khetereli A., Gabunia I., Abashidze U.), Tbilisi.
4. Ministry of Regional Development and Infrastructure of Georgia, official website.
5. Social Service Agency, official website.
6. Enterprise Georgia, official website.
7. Government Program 2025–2028 ("Only Through Peace, Dignity, and Prosperity Towards Europe"), November 2024.
8. Targeted Social Assistance in Georgia (Social Impact of the Program and the Potential for Poverty Reduction), Social Justice Center research, Tbilisi, 2023.

ECONOMIC MODELING OF DEMOGRAPHIC PROCESSES: THE CASE OF GEORGIA

David Bidzinashvili
Doctor of Economics, Professor Gori State University, Georgia
https://orcid.org/0000-0002-2311-4110
DOI: 10.5281/zenodo.21471761

Abstract

According to the updated results of the Population and Housing Census published by the National Statistics Office of Georgia (Geostat), Georgia's population reached **3,929,581** as of **14 November 2024**. Compared with the results of the 2014 census (3,713,804 people), this represents an increase of **5.8%**, or **215,777** people.

According to Geostat, **52%** of Georgia's population, or **2,048,577** people, are women, while **48%**, or **1,881,004** people, are men.

The 2024 census also revealed that over the past decade the urban population has grown significantly, increasing by **15.7%**. In contrast, the rural population has continued to decline, falling by **7.4%** between 2014 and 2024—equivalent to a decrease of more than **111,000** people.

Keywords: Population Size; Life Expectancy; Birth Rate; Number of Citizens; Population Ageing; Migration.

Intraduction: Georgia's **2024 Population and Agricultural Census** was conducted between **14 November and 31 December 2024.** The census covered the entire territory of the country, with the exception of the occupied territories.

As part of the census, data were collected electronically using modern technologies. The process was carried out in two stages. During the first stage (14–23 November 2024), the **Computer-Assisted Web Interviewing (CAWI)** self-enumeration method was used. During the second stage (29 November–31 December 2024), data were collected through **Computer-Assisted Personal Interviewing (CAPI).**

Reserchobjective: The aim of this study is to conduct a systematic and quantitative analysis of Georgia's demographic processes, examine the patterns of the population's age structure, identify and implement appropriate measures, and ensure their incorporation into relevant strategic policy documents.

Methology: The theoretical and methodological framework of the study is based on the research and scholarly publications of Georgian and international researchers, data provided by the **National Statistics Office of Georgia (Geostat),** and social policy documents. An in-depth analysis of the available data was conducted, leading to the formulation of a number of conclusions and recommendations.

Review and discussion: An analysis of the demographic situation in Georgia indicates that the country is in the late stage of the demographic transition, characterized by a sustained decline in fertility, increasing emigration, and population ageing. [1]

An additional structural challenge facing Georgia is the selective emigration of the working-age population, which reduces the country's reproductive potential and contributes to imbalances in the age structure. This, in turn, increases the demographic dependency burden and poses long-term risks to the sustainability of the pension system, the healthcare sector, and the country's economic development. [2]

A few days ago, the **National Statistics Office of Georgia (Geostat)** published the results of the 2024 Population Census. The findings indicate that Georgia's population has increased. However, it is noteworthy that only **43%** of the overall population growth is attributable to Georgian citizens, while the remaining **57%** is accounted for by foreign nationals residing in the country. [3]

Compared with the previous census, the increase in the number of Georgian citizens was not the largest among the population groups recorded, with several foreign nationalities showing substantially higher growth rates.

For example, the number of Indian citizens increased approximately **55-fold,** while the number of citizens from Arab countries grew by about **22 times.** The number of Israeli citizens increased by approximately **15 times** compared with the previous census.

The growth in the number of Georgian citizens was therefore not the highest. For instance, the number of Azerbaijani citizens increased at a considerably faster rate. These figures are reflected in the census results.

According to the results of the 2024 Population Census, the population of **Tbilisi** was **1,331,485,** representing an increase of **20.1% (222,768** people) compared with the 2014 census.

All other regions experienced population declines. The largest decreases were observed in the **Guria** region (**9.7%)** and **Samegrelo–Zemo Svaneti (7.6%).** Significant population declines were also recorded in **Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti (6.8%), Kakheti (4.6%),** and **Imereti (4.3%).** [4]

Overall, in Georgia, the demographic crisis should be understood not as a short-term social problem, but as a structural transformation of society. Addressing it requires the long-term institutionalization of demographic policy, sustainable mechanisms of intersectoral coordination, and the formation of a new social culture that supports family values and social solidarity. Thus, demography becomes a key indicator of the country's future development.

The extent to which timely and systematic decisions are made today will determine the country's socio-economic sustainability in the coming decades.[5]

Conclusion and Recommendations: In order to better analyze the above-mentioned issues, it is considered appropriate to:

- classify quantitative methods of population assessment according to criteria such as the study of changes in the population's demographic structure, the study of reproduction regimes, and the study of demographic models;
- place particular emphasis on examining economic activity by age group, identifying existing shortcomings, and exploring ways to address and mitigate them;
- study the impact of live births and external migration on the size of the labor force, and implement targeted policy measures in response;
- analyze trends in changes in the average monthly nominal wage and assess their impact on the country's demographic situation;
- recognize that the existing family support policy in Georgia is insufficient to address demographic challenges and to ensure adequate social support for large families; therefore, it requires improvement, taking into account best practices from European Union member states.

References

1. Georgian Legislative Herald, "Georgia's Demographic Security Concept", Accessed November 12, 2025. https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3331420?publication=0.

2. Khundadze D. (2025); ,, Demographic Policy as one of The Determining Factors of State Security (on the example of Georgia)'', Caucasus International University, Abstract of the Dissertation Submitted for the Academic Degree of Doctor of Political Science;

3. National Statistics Office of Georgia. https://www.geostat.ge/

4. Ministry of Economy and Sustainable Development of Georgia. www.economy.ge

5. Arabuli N. (2026), ,, More Large Families and More Elderly People: Distinctive Features of Georgia's Demographic Profile"; https://www.radiotavisupleba.ge/

HISTORICAL SCIENCES

THE SOCIO-POLITICAL SITUATION IN NAKHCHIVAN AT THE BEGINNING OF THE 20TH CENTURY

Nadir Huseyinbeyli
PhD in History,
Nakhchivan State University
Fakhraddin Jafarov
Doctor of Historical Sciences, Associate Professor
DOI: 10.5281/zenodo.21471812

Abstract

The article extensively highlights the difficult situation of the working masses in Azerbaijan, as well as in Nakhchivan, as in the Russian Empire at the beginning of the 20th century. On the one hand, the peasants were subjected to the national-colonial oppression of local khans, beys, and clergy, and on the other hand, tsarism and its officials. On the one hand, heavy landlord exploitation and on the other hand, large amounts of taxes collected impoverished the peasants and turned them into beggars. As a result of this impoverishment, the peasants could not pay their treasury taxes. The tax arrears on them increased from year to year. Also, the article shows that the villages of Nakhchivan, Ordubad, and Sharur joined the struggle by speaking out against the remnants of serfdom and the ruthless exploitation of beys and khans, and the peasants resorted to various means to obtain land. Peasants' recourses to the form of refugeeism expanded significantly and took the form of a partisan movement.

We note that despite the tsarist regime and the rampant landlordism in the socio-economic and political life of Nakhchivan at the beginning of the 20th century, the changes that occurred as a result of the unity and contradictions of social relations and mutual relations in the country's economic life, and the reasons and characteristics of the intensification of the class struggle in the country, were not as we know them, but the peasant protests in various forms and methods took on a sharp character.

Keywords: Caucasian Viceroyalty Vorontsov-Dashkov, Nakhchivan, Ordubad and Sharur villages, Rahim Khan, Jafargulu Khan, "Qafqaz" newspaper, Gachag Kalba Teymur Haji Khudakerim oglu, Kechili village, Colonel Zenchenko

At the beginning of the 20th century, as in the entire Russian Empire, the situation of the working masses in Nakhchivan was extremely difficult. On the one hand, they were subjected to the national colonial oppression of local khans, beys, and clergy, and on the other hand, tsarism and its officials. The obtained archival documents show that out of about 240 villages in Nakhchivan and Sharur districts, 124 were owned by landlords. Let us only note that in the mentioned districts, 53.8 percent of the land was owned by landlords, 35.5 percent by the treasury, 2.8 percent by mosques, and 7.9 percent by peasants. It is clear that peasants used the indicated lands on lease, on arrears, and under other difficult conditions. The conditions for purchasing "share" land were so severe that even the Caucasian viceroy Vorontsov-Dashkov admitted that the Keshdaz villages of the Sharur district could not use it for 34 years. One of the more characteristic evidences that the lands were treasury and landlord property is the fact that the village was owned by several landlords. Thus, in the Nakhchivan district, Shakerabad - 8, Selesuz - 11, Bash Anzur - 11, Cheshmebasar - 16, Behrud - 4, Tivi - 8, Nasirvaz - 75 were the estates of landlords. Thus, all the lands were in the hands of beys, khans and the treasury. Landless peasants were forced to agree to every harsh condition of the landlord [1.p. 103-104]. As on land, there was landlord property on water. The owners of the Kahriz provided water to the villagers to irrigate their fields and in return received a berps tax (a certain portion of the produce).

The villages of Nakhchivan, Ordubad and Sharur joined the struggle against the remnants of serfdom, the ruthless exploitation of the beys and khans, and the peasants resorted to various means to obtain land. The naive, believing in the mercy of the tsar, wrote petitions to the tsar, his viceroy, and the governor, asking for land. When the villages of Badamli and Yukhari Ramesh requested arable land from the area called "Bostan chuchu", the governor gave a firm answer: "It is planned to allocate arable land from the area of "Bostan chuchu" only for the Russian peasants who will be resettled there [3.1978, April 28]. From the second half of 1905, the nature of the peasant uprisings changed significantly, turning into armed uprisings. The Kechili peasants of the Shahbuz settlement of the Nakhchivan district armed themselves and occupied the pasture belonging to Rahim Khan in the village of Kulus. The district police force that arrived at the request of Rahim Khan encountered serious resistance from the villagers, so they returned with the resistance of a group of 40 armed villagers [4, v.34]. Seeing that the residents of Badamli and Yukhari Ramesh of Shahbuz settlement could not obtain land plots through applications and complaints, the villages of Kechili and Kulus occupied the "Huseyn Yurd" and "Guney Yurd" pastures belonging to the brothers Rahim Khan and Jafargulu Khan in the spring of 1905 and built yurts there. The landowners, however, tried to take back the yurts by force of the police. The villagers' lawyers, Gahraman Ismayil oglu and Fatali Gulu oglu, informed the police chief that "They will not leave the yurt under any circumstances"

[3.1978, April 28]. The chief of the Nakhchivan district informed the Iravan governorate: “The police are proposing to the Kulus people to leave the area until the landowners reach an agreement with those in Nakhchivan.” However, the villagers reject this offer and do not leave the pasture. The Tivi villagers, inspired by the organized movement of the Kechili and Kulus people, also set up a yurt on 150 dessiatins of communal land in the “And-top” area that the beys wanted to occupy and take up arms. The Ordubad bailiff informed the Iravan governorate administration about the excited speeches of the Tivi villagers and asked for help. On May 19, 1905, the governorate administration informed the Ordubad local command chief that, by order of the governor, he was sending the commander subordinate to him today to help the Tivi village bailiff in order to suppress the unrest of the district people [5, v.95]. The population of the village of Tivi does not leave the meadows until the command arrives and does not even consider the district government. This village was historically a rebellious village. It was the camp of Qachag Nabi and the Shahhuseyn brothers. Telli Qara gizi, who joined Nabi, was from this village. Qachag Aghahuseyin's wife lived in this village, etc. In connection with the great public unrest, in May 1905, the governor of Kutaisi, General Alikhanov Avarsky, came to Nakhchivan. Seeing that the peasant uprisings in the mountainous areas of the district were gradually strengthening, he sent captain Mironov from the 5th district Cossack team to suppress the rebellion in the Shahbuz district and, after suppressing the Shahbuz rebellion, ordered the Tivi villages to be put under control. In addition, by order of the governor, the required military forces were sent from the Kanekir military camp to Nakhchivan [3.1978, April 28]. In connection with the popular unrest in the mountainous areas of the Nakhchivan region, the "Qafqaz" newspaper wrote in its issue dated May 17, 1905: In connection with the robbery of the "Black Veng" mansion, the Iravan governor is requested to send two more battalions of infantry, 300 Cossacks and artillery on May 14. Indeed, by order of the governor, any military force from the Kanekir military camp is being sent to Nakhchivan [May 6, 1905, May 17]. Such a situation existed everywhere in the entire region. A significant number of regular troops were kept in the cities of Nakhchivan, Julfa and Ordubad, as well as at the Shahtakhti station. The struggle of the villages of Kechili and Tivi against the government continued in the years after the first Russian revolution. In July 1906, the information given to the Caucasus police department stated: “The Tatars (Azerbaijanis) occupied high hills at a distance of up to three versts. The shooting with the troops begins. 1000 cartridges were fired by the Cossacks”. Thus, the struggle of the villages of Kechili-Kulus for the pasture lands resulted in armed clashes with the government military force [7, v.34-41]. In September 1906, Gafar bey and Khosrov bey, who owned a lot of land and orchards in the village of Ustupu in the Ordubad district, were killed by the villagers, and in October of the same year, Zakhar Janpoladov, the owner of a large estate and a salt mine in the village of Sust, a tenant farmer, and usurer, was killed by the villagers in the village of Kultepe in the Nakhchivan district. [8, v.99-101]. Peasant movements in the form of refugees expanded significantly in 1906-1907 and took the form of a partisan movement. The historian wrote that the refugees in the Nakhchivan region were mainly Azerbaijanis [8, v.99].

Police Cossack groups led by the deputy police chief of Ordubad, Jabbar agha Vezirov, entered the village by storm, looted the village, killed the cattle, chopped down the fruit trees with axes and threw them to the ground, and arrested the remaining 22 elders, including Pirim Gulamali oglu. One of those arrested was the village centurion, Shahvelad Bagirov. He had been put on trial in 1909 for hiding the village's cattle from the government for the benefit of the villagers [11, v.27]. 22 prisoners, including Shirin Gulamali oglu, one of the organizers of the Tivi peasant speeches, were sent to the Ordubad city prison. The court assigned the investigation of the arrested to the investigator, a semi-liberal Mirzaligulu Rasulbeyov. The investigator recommended that witnesses be brought in both in large numbers and from distant places. This means that in wartime (1914), as the investigation is delayed and the case drags on, the guilt of the prisoners may lose its importance. This is what happened. The investigation dragged on until 1915. It was impossible to gather the witnesses together and make them talk. When Karapert Yalag oglu, a lawyer hired by the community from Yerevan for 800 manats, became familiar with the case, he said that it would take two to three years to review this indictment. By then, the world would be one-sided. Therefore, the prisoners should be released on bail. The police department released the remaining prisoners except Shahveled Bagirov on bail. The prisoners, who were fed up with this case, refused to release. At this time, the police department resorted to treachery and poisoned Shahveled. Haji Mir Hasan agha, a doctor from Ordubad, took on the treatment of the patient. At the insistence of the Ordubad community, Shahveled was released on bail, but died after 3 months. [12, v.129-130]. The investigation of 21 prisoners lasted until the spring of 1917. At that time, the tsarist regime fell. Like all political prisoners, they escaped punishment. The situation became even more tense during the First World War. Cattle and food were sent from Nakhchivan to the Caucasus front. At that time, the political accusations against the Tivi villages almost lost their significance. As in other villages of Nakhchivan, the situation of the villagers living in the Tivi village was difficult. The villagers were forced to do the hardest work in order to support their children. As mentioned above, despite the rampant tsarist rule and landlordism in the socio-economic and political life of Nakhchivan at the beginning of the 20th century, we note that the changes that occurred as a result of the unity and contradictions of social relations and mutual relations in the country's economic life, and the reasons and characteristics of the intensification of the class struggle in the country, were not as we know them, but that peasant protests in various forms and methods took on a sharp character.

References

1. Jafarov FA Nakhchivan "Accident Police" Baku, "Nurlan" publishing house, 2008. 192.p.
2. Madatov G.A. The victory of Soviet power in Nakhchivan and the organization of the Nakhchivan ASSR Baku, Azernashri, 1958. 164.p.
3. Nakh MRDA. f.582.s.1.ish.26.v.99-101
4. Nakh. MRDA. f.22m.s.1.ish.59, v.95
5. Qafqaz newspaper 1905, May 17
6. Nakh. MRDA. f.23m.s.1.ish 2652. v.34-41
7. Nakh. MRDA. f.582. p.1.ish 26. v.99-101
8. Nax. MRDA. fund 23 ms1. work 1267. v.9-12
9. ARDA. f. 807, p. 2. work. 3848. v. 63-70
10. Nakh. MRDA. f.314. p.5ª, work 46. v.27
11. Jafarov FA Nakhchivan police: main directions and stages of activity Baku "Nurlan" publishing house, 2011. 386p.

JURISPRUDENCE

DEATH BENEFITS IN FAVOR OF THE CHURCH: CIVIL AND CANON LAW IMPLICATIONS

Bernadett Szólláth
Dr., Faculty of Law, Pázmány Péter Catholic University (PPKE)
DOI: 10.5281/zenodo.21471860

STERBEGELD ZUGUNSTEN DER KIRCHE: ZIVIL- UND KIRCHENRECHTLICHE AUSWIRKUNGEN

Bernadett Szólláth
Dr., Rechtswissenschaftliche Fakultät der PPKE

Abstract

The relationship between the Church and inheritance law lies at the intersection of civil law and canon law, giving rise to a number of specific doctrinal and regulatory issues. Civil law approaches inheritance primarily from the perspective of legal capacity, whereas canon law places greater emphasis on the acquisition of property and the proper administration and use of acquired assets. In this context, transparency and accountability play a central role in decisions concerning the authorization of property acquisition and the management of inherited assets. Different Christian denominations regulate these matters in accordance with their own organizational structures and normative traditions. Historical and comparative legal experience demonstrates that the relationship between the Church and inheritance law continuously adapts to social and legal policy developments. Changes in financing models and the rapid advancement of digitalization require new interpretative frameworks that enable a more nuanced understanding of the normative coexistence and interaction between ecclesiastical autonomy and inheritance law, while also necessitating the further refinement of the applicable legal framework.

Zusammenfassung

Das Verhältnis zwischen Kirche und Erbrecht liegt an der Schnittstelle zwischen Privatrecht und Kirchenrecht und wirft daher eine Reihe spezifischer dogmatischer und regelungsrechtlicher Fragen auf. Das Zivilrecht betrachtet das Erbrecht unter dem Gesichtspunkt der Rechtsfähigkeit, während das Kirchenrecht den Erwerb von Vermögen und die ordnungsgemäße Verwendung des erworbenen Vermögens in den Vordergrund stellt. In diesem Zusammenhang spielen Transparenz und Rechenschaftspflicht bei Entscheidungen über die Genehmigung von Vermögenserwerb und die Verwendung von geerbtem Vermögen eine zentrale Rolle. Die verschiedenen Konfessionen regeln all dies entsprechend ihren eigenen Organisationsstrukturen und normativen Traditionen. Historische und rechtsvergleichende Erfahrungen zeigen, dass sich das Verhältnis zwischen Kirche und Erbrecht ständig an gesellschaftliche und rechtspolitische Veränderungen anpasst. Der Wandel der Finanzierungsmodelle und der Vormarsch der Digitalisierung erfordern neue Auslegungsrahmen, die ein differenzierteres Verständnis der normativen Koexistenz und Dynamik zwischen kirchlicher Autonomie und Erbrecht sowie eine weitere Verfeinerung der Regelungen notwendig machen.

Keywords: ecclesiastical succession; church financing; acquisition of property upon death.
Schlüsselwörter: kirchliche Nachfolge; Kirchenfinanzierung; Erwerb von Vermögen im Todesfall;

1. Einleitung

Der Tod markiert das Ende des irdischen Lebens und erfordert die endgültige Regelung der rechtlichen Verhältnisse hinsichtlich des irdischen Vermögens. Da der Tod und die letztwillige Verfügung über das Vermögen mit spiritueller Bedeutung verbunden sind, ist es kein Zufall, dass lange Zeit die Kirchen die Hauptbegünstigten dieser letztwilligen Verfügungen waren. Über Jahrhunderte hinweg spielte diese Einnahmequelle der Kirche eine entscheidende Rolle für ihren wirtschaftlichen Unterhalt.[1] Die Untersuchung von Vermächtnissen zugunsten der Kirche und deren Auswirkungen auf die kirchlichen Einnahmen und die Kirchenfinanzierung darf auch heute nicht außer Acht gelassen werden, da die wirtschaftliche Nachhaltigkeit moderner Kirchen erneut zu einem zentralen Thema wird.

Die Regelung von Vermächtnissen zugunsten der Kirche liegt an der Schnittstelle zwischen Privatrecht und Kirchenrecht. Die Kirche ist eine besondere juristische Person des Zivilrechts, die vom Staat anerkannt und mit Rechtsfähigkeit ausgestattet ist[2] ; zugleich genießt sie Regelungsautonomie, was bedeutet, dass ihre Rechtsstellung gleichzeitig durch

[1] Dr. Annamária Schlosser, István Csízi: *Kirchen im Erbrecht*, Notarblatt, Budapest, 2007/10, 14–21.

[2] Gesetz CCVI von 2011 über das Recht auf Gewissens- und Religionsfreiheit sowie über die Rechtsstellung von Kirchen, Konfessionen und Religionsgemeinschaften (Ehtv), § 7 Abs. 2, Gesetz V von 2013 über das Bürgerliche Gesetzbuch (im Folgenden: Ptk.), § 3:1 Abs. 1; Lajos Vékás: *Erbrecht*, Eötvös-Verlag, Budapest, 2019, S. 15; Prof. Dr. Tekla Papp: *Unvollkommene juristische Personen im ungarischen Privatrecht*, https://omkm.uni-nke.hu/document/omkm-uni-nke.hu/Prof%20Dr%20Papp%20Tekla_%20Imperfectajogiszem%C3%A9lyekamagyarmag%C3%A1njogban%C3%96MKM.pdf [26. Februar 2026]

die staatliche Rechtsordnung und durch das eigene, autonome Normensystem der Kirche bestimmt wird.[3] Diese Dualität spiegelt sich in vermögensrechtlichen Beziehungen wider, auch im Zusammenhang mit dem Erbrecht. Es stellt sich die Frage, wie sich die kirchliche Erbfolge in den dogmatischen Rahmen des Zivilrechts einfügt und welche spezifischen Merkmale das Kirchenrecht diesem hinzufügt. Wie manifestiert sich das Verhältnis zwischen weltlichem Recht und den internen Vorschriften der Kirche in Nachlassangelegenheiten, und welche theoretischen und praktischen Fragen wirft die Erbfähigkeit der Kirche auf?

2. Historischer Überblick

Die Beziehung zwischen der Kirche und dem Erbrecht hat seit jeher eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung des europäischen Eigentumsrechts gespielt, da ein erheblicher Teil des kirchlichen Vermögens im Mittelalter durch Erbschaft und testamentarische Verfügungen in den Besitz der Kirche gelangte.[4] Die Anhäufung von Vermögen durch Erbschaften seitens der Kirche löste in regelmäßigen Abständen gesellschaftliche und politische Gegenreaktionen aus, was die weltlichen Behörden dazu veranlasste, das Wachstum des kirchlichen Vermögens zu begrenzen – insbesondere durch die Gestaltung der Erbregelungen und dabei durch die Regulierung des Umfangs der freien testamentarischen Verfügung, die eine Voraussetzung für das kirchliche Erben darstellte.[5] Die sich ständig wandelnde Dynamik der Beziehungen zwischen Staat und Gesellschaft einerseits und kirchlichem Vermögen sowie kirchlichem Erbe andererseits hatte erheblichen Einfluss auf die Entwicklung des Erbrechts.

Dieser europäische Trend war auch in Ungarn zu beobachten. Im frühen Mittelalter hielt der Adel – der die wohlhabendste Gesellschaftsschicht bildete – an seinen angestammten Ländereien fest, was eine freie testamentarische Verfügung zumindest in Bezug auf alte Erbgüter ausschloss. Diese strenge Einschränkung wurde in Ungarn vorübergehend durch die Gesetze der Könige Stephan und Koloman[6] sowie später durch die Goldene Bulle[7] aufgehoben, doch das 1351 gesetzlich verankerte Prinzip der Erstgeburtsrecht führte die ursprünglichen Regelungen wieder ein und machte es über Jahrhunderte hinweg unmöglich, über Stammsitze frei testamentarisch zu verfügen, einschließlich Vermächtnissen an die Kirche. Während jedoch der Adel nur über sein persönliches Vermögen und erworbene Ländereien frei testamentarisch verfügen konnte, unterlagen die Leibeigenen und Bürger – von wenigen Ausnahmen abgesehen – keinen derartigen Beschränkungen.[8] Aufgrund der Zersplitterung der Stammesgüter und der Verringerung der für Schenkungen verfügbaren Landflächen ging der Umfang der Grundstückserwerbe der Kirche durch Testamente ab der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts zurück; die durch Erbschaft erworbenen Vermögenswerte der Kirche bestanden hauptsächlich aus beweglichem Vermögen und Geld und wurden der Kirche meist vermacht. Dennoch behielt der Erwerb von Vermögen durch die Kirche mittels Testament weiterhin erhebliche Bedeutung. Dies zeigt sich daran, dass Erbschaftsstreitigkeiten im Zusammenhang mit Testamenten – wenn auch in zunehmend begrenztem Umfang – bis zur Einführung der modernen erbrechtlichen Regelungen in der Zuständigkeit der Kirchengerichte verblieben.[9]

Die Reformation markierte einen bedeutenden Wendepunkt in der Beziehung zwischen Theologie und Recht – und damit auch zwischen kirchlichem und weltlichem Eigentumsrecht –, insbesondere in der Entwicklung des europäischen Erbrechts. In der mittelalterlichen Rechtsauffassung vor der Reformation hatte das Kirchenrecht in den Bereichen Erbschaft und testamentarische Verfügung Vorrang, was die Anhäufung kirchlichen Vermögens durch Erbschaft ermöglichte und aus theologischer Sicht testamentarische Verfügungen zugunsten der Kirche sowie wohltätige Vermächtnisse förderte. Nicht nur war die Kirche die Begünstigte in Testamenten, sondern auch Rechtsstreitigkeiten in Erbangelegenheiten fielen in die Zuständigkeit kirchlicher Gerichte.[10] Im Gegensatz dazu kritisierten die Reformatoren – insbesondere Martin Luther – aus theologischen Gründen scharf das Erbschaftssystem der Kirche und die Praxis der Vermögensanhäufung, die sie als wirtschaftlich schädlich und sozial ungerecht betrachteten, da dadurch Vermögen dauerhaft dem weltlichen Kreislauf entzogen wurde („tote Hand“ –

[3] Artikel VII Absätze 1 bis 4 des Grundgesetzes; §§ 20, 6–7 und 19 des Bürgerlichen Gesetzbuchs.

[4] Berman, Harold J.: *Recht und Revolution: Die Entstehung der westlichen Rechtstradition.* Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1983. S. 85–102.; Dr. Annamária Schlosser, István Csízi: a. a. O. [2]; Brundage, James A.: *Mittelalterliches Kirchenrecht*. Routledge, London, 1995. S. 98–112.; Helmholz, R. H.: *Das kanonische Recht und die kirchliche Gerichtsbarkeit von 597 bis in die 1640er Jahre*. Oxford University Press, Oxford, 2004. S. 143–160.

[5] Brundage: a. a. O., S. 120–125.

[6] St. Stephan II.: Titel 2; König Koloman I.: Titel 20. In: *Ungarisches Gesetzbuch. Corpus Juris Hungarici* 1000–1895. Hrsg. Dezső Márkus, Franklin Society, Budapest, 1897.

[7] Artikel 4 der Goldenen Bulle von 1222 https://net.jogtar.hu/ezer-ev-torveny?docid=22200000.TV&searchUrl=/ezer-ev-torvenyei [abgerufen am 16. Januar 2026]

[8] István Werbőczy: *Tripartitum*. Übersetzt von Sándor Kolosvári und Kelemen Óvári, Franklin Society, Budapest, 1897, Teil III, Titel 30, S. 404–406; sowie das Gesetz Nr. 46 von 1655 über Beschränkungen hinsichtlich kirchlichen Eigentums und Stiftungen. In: *Ungarisches Gesetzblatt. Corpus Juris Hungarici* 1000–1895. Hrsg. Dezső Márkus, Franklin-Gesellschaft, Budapest, 1897.

[9] § 1458 Abs. 9, § 1462 Abs. 3, § 1464 Abs. 17; In Ungarn wurden die Kirchengerichte zunächst von Streitigkeiten über testamentarische Nachlässe, dann von allen erbrechtlichen Streitigkeiten mit Ausnahme der Prüfung der formalen Gültigkeit von Testamenten und schließlich gänzlich ausgeschlossen (vgl. Werbőczy: a. a. O.; Gesetz Nr. 15 von 1647; Gesetz Nr. 54 von 1868, § 22)

[10] György Bónis: *Elemente des mittelalterlichen ungarischen Rechts*, Közigazgatási és Jogi Kiadó, Budapest, 1972, 59–141.

manus mortua).[11] Ihrer Ansicht nach sollte kirchlicher Besitz den Zwecken der Gemeinschaft dienen. Die protestantische Rechtsauffassung betrachtete die Erbschaft als eine weltliche Rechtsinstitution;[12] in protestantischen Gebieten wurde die Regelung des Erbrechts zur ausschließlichen Zuständigkeit der staatlichen oder fürstlichen Gesetzgebung;[13] die Entscheidung von Erbschaftsstreitigkeiten wurde auf weltliche Gerichte übertragen.[14] All diese Entwicklungen im 16. und 17. Jahrhundert in Gebieten unter protestantischem Einfluss trugen zur Stärkung des weltlichen Erbfolgerechts bei und[15] ebneten langfristig den Weg für die Entstehung des modernen Zivilrechts im Bereich der Erbfolge, in dem das Erbrecht in erster Linie eine familienrechtliche und wirtschaftliche Funktion erfüllt.

Während im Rahmen der in Österreich vorherrschenden josephinischen Verfassungs- und Kirchenpolitik das Allgemeine Bürgerliche Gesetzbuch (ABGB) ausdrücklich restriktive Bestimmungen hinsichtlich Vermächtnisse für kirchliche und wohltätige Zwecke sowie testamentarischer Verfügungen zugunsten der Kirche festlegte,[16] strebte die ungarische Rechtspolitik des 19. Jahrhunderts nicht mehr danach, im Erbrecht privilegierte oder eingeschränkte Kategorien zu schaffen. Im Mittelpunkt der Kodifizierung standen der einheitliche Schutz des Privateigentums und die Beseitigung früherer Beschränkungen der Verfügungsfreiheit.[17] Dieser Ansatz ermöglichte es, dass Vermächtnisse zugunsten der Kirche im modernen erbrechtlichen Rahmen den allgemeinen Regeln des zivilen Erbrechts unterlagen.[18]

In der Zeit des Dualismus waren Vermächtnisse zugunsten der Kirche rechtlich zulässig und gängige Praxis; gleichzeitig verlagerte sich der Schwerpunkt jedoch zunehmend auf institutionelle, zweckgebundene Zuwendungen – insbesondere auf gemeinnützige Stiftungen und Vermächtnisse.[19]

Ab der Mitte des 20. Jahrhunderts erfuhr das rechtliche Umfeld einen radikalen Wandel. Während der Zeit des Staatssozialismus wurde die finanzielle Autonomie der Kirchen erheblich eingeschränkt: Der Großteil des kirchlichen Vermögens wurde verstaatlicht, die wirtschaftlichen Aktivitäten kirchlicher juristischer Personen wurden eingeschränkt, und der Erwerb von Vermögen durch die Kirche – auch durch Erbschaft – wurde als politisch unerwünscht angesehen. Obwohl die Möglichkeit, Vermögen der Kirche zu vermachen, formal bestehen blieb, wurde der Erwerb von Vermögen durch die Kirchen im Wege der Erbschaft durch administrative, finanzielle und politische Maßnahmen erheblich eingeschränkt.[20] Die Verfassung von 1949 und nachfolgende Gesetze stellten den Betrieb und die Finanzierung der Kirchen unter staatliche Kontrolle,[21] , und obwohl das Gesetz IV von 1959 (das Bürgerliche Gesetzbuch) die Erbfähigkeit juristischer Personen, einschließlich der Kirchen, weiterhin allgemein anerkannte, wurden die tatsächlichen Möglichkeiten der Kirchen, Eigentum zu erwerben und zu erben, infolge spezifischer Gesetzgebung und der Praxis der staatlichen Verwaltung marginal.[22]

Die verfassungsrechtlichen und gesetzgeberischen Reformen im Zuge des Regimewechsels schufen die Voraussetzungen für die Wiederherstellung der kirchlichen Autonomie und finanziellen Unabhängigkeit, wodurch die Kirche erneut in die Lage versetzt wurde, die Möglichkeit des Erwerbs von

---

[11] Berman, Harold J.: *Law and Revolution II: The Impact of the Protestant Reformations on the Western Legal Tradition*. Harvard University Press, Cambridge, 2003, 45–52.; Witte, John Jr.: *Law and Protestantism: The Legal Teachings of the Lutheran Reformation*. Cambridge University Press, Cambridge, 2002, 88–101.;

[12] Witte, John Jr.: a. a. O., 88–101.; McGrath, Alister: *Reformation Thought: An Introduction*, 4. Aufl. Wiley-Blackwell, Oxford, 2012, 187–201.

[13] Witte, John Jr.: a. a. O., 88–101.

[14] Elemér Balogh: *Der richterliche Rat des Bischofs in der mittelalterlichen deutschen kirchlichen Gerichtsbarkeit* (Hrsg.: Krisztina Korsósné Delaçasse, Gábor Máthé und Barna Mezey). Gondolat, Budapest, 2023, S. 16–20.

[15] Barna Mezey: *Eine Geschichte des ungarischen Rechts*, Osiris Kiadó, Budapest, 2018, S. 136–140.

[16] Coing, Helmut: *Europäisches Privatrecht. Band II: Das 19. Jahrhundert – Ein Überblick über die Entwicklung des „ en“ Privatrechts in den ehemaligen Common-Law-Ländern*, C.H. Beck, München, 1989, 94–102; und Brauneder, Wilhelm: Geschichte des europäischen Privatrechts, Böhlau Verlag, Wien–Köln–Weimar, 2014, 213–218.

[17] Bónis, György: *Feudalismus und das Ständesystem im mittelalterlichen ungarischen Recht*, Osiris Kiadó, Budapest, 2003, 547–568; sowie Mezey: a. a. O., 132–140.

[18] Szladits, Károly: *Ein Überblick über das ungarische Privatrecht. Band I*, Grill Károly Könyvkiadó, Budapest, 1937, 412–415; siehe auch das Gesetz XV von 1848 über die Abschaffung des Erstgeburtsrechts, das die Veräußerbarkeit adeliger Ländereien und den Grundsatz der freien Verfügung grundlegend veränderte und damit die dogmatischen Grundlagen des modernen Erbrechts schuf. Laut Szladits brach das in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstandene zivilrechtliche Erbrecht bewusst mit den auf der sozialen Klasse und dem kanonischen Recht beruhenden Unterscheidungen; die Grundsätze der Gleichheit und der testierenden Freiheit rückten in den Mittelpunkt der Kodifizierung. Dementsprechend behandelten das Gesetz XVI von 1876 über die form en Anforderungen an Testamente, Erbverträge und Schenkungen von Todes wegen sowie das Gesetz XVI von 1894 über das Nachlass sverfahren die Kirche nicht anders als andere juristische Personen.

[19] Mezey: a. a. O., S. 214–218.

[20] Mezey: a. a. O., S. 214–218; Lajos Vékás (Hrsg.): *Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch, Band I*, Complex Kiadó, Budapest, 2010, S. 312–315.

[21] Gesetz XX von 1949 (Verfassung der Ungarischen Volksrepublik), insbesondere die staatssozialistische Auslegung der Bestimmungen zur Trennung von Kirche und Staat

[22] Gesetz IV von 1959 über das Bürgerliche Gesetzbuch, §§ 28–29;

Vermögen, das sich aus privatrechtlichen Bestimmungen im Zusammenhang mit dem Tod ergibt, wirksam auszuüben.[23]

3. Die Rechtsnatur und die finanzielle Lage der Kirche

Aus staatsrechtlicher Sicht ist die Kirche eine institutionalisierte Religionsgemeinschaft, deren gesetzlich anerkannte Organisationsformen Rechtspersönlichkeit besitzen und Partei in vermögensrechtlichen Beziehungen sein können.[24] Die Rechtsstellung und Autonomie der Kirchen werden durch Artikel VII des Grundgesetzes und durch das Kirchengesetz garantiert. Diese Rechtsstellung beschränkt sich jedoch nicht auf das Vorliegen der privatrechtlichen Rechtsfähigkeit.[25] Das Wesen der kirchlichen Autonomie liegt auch darin, dass eine Kirche ein eigenes Normensystem schaffen kann, in dessen Rahmen sie ihre Organisationsstruktur und Arbeitsweise sowie die Grundprinzipien ihrer Vermögensverwaltung festlegen kann.[26] Die durch ihre internen Vorschriften definierte Organisationsstruktur der Kirche und das System kirchlicher juristischer Personen bestimmen den vermögensrechtlichen Status der Kirche nach staatlichem Recht. Dies liegt daran, dass das Vermögen nicht einheitlich der „Kirche" als Ganzes gehört, sondern auch internen kirchlichen juristischen Personen auf verschiedenen Organisationsebenen, die Rechtspersönlichkeit besitzen und ihre Angelegenheiten unabhängig oder zumindest teilweise unabhängig verwalten. Diese Organisationsstruktur ist auch in erbrechtlichen Angelegenheiten von Bedeutung, insbesondere wenn in einem Testament eine interne kirchliche juristische Person als Begünstigte eingesetzt wird.

Kirchliches Vermögen dient nicht ausschließlich wirtschaftlichen Zwecken. Es dient religiösen Aktivitäten, dem Gemeinschaftsleben, dem Unterhalt von Einrichtungen und dem Funktionieren der Kirche, was auch den Rahmen für dessen Verwaltung und Nutzung bestimmt.[27] Dieser Zweck unterscheidet kirchliches Vermögen qualitativ von privatem Vermögen und rechtfertigt insbesondere die Autonomie der Kirche in vermögensrechtlichen Angelegenheiten. Diese Autonomie ist jedoch nicht unbegrenzt, sondern wirkt sich im Rahmen der staatlichen Rechtsordnung aus. Rechtsverhältnisse, die auf den Erwerb von kirchlichem Vermögen abzielen – wie beispielsweise der Erwerb von Vermögen durch Erbschaft –, werden nach den Regeln des Zivilrechts begründet; das interne Kirchenrecht regelt hingegen nicht die Rechtsgrundlage für den Erwerb von Vermögen, sondern dessen Annahme oder Ablehnung, Verwaltung und Nutzung und kann den kirchlichen Rechtsträgern diesbezüglich weitere Verpflichtungen auferlegen.[28]

4. Allgemeine erbrechtliche Stellung

Erbe ist jede Person, die zum Zeitpunkt des Nachlassanfalls rechtsfähig ist und nach dem Gesetz oder einem Testament erbberechtigt ist.[29] Grundvoraussetzung für die Erbenstellung ist somit die Erbfähigkeit, d. h. die Fähigkeit einer juristischen Person, Rechte und Pflichten aus dem mit dem Tod des Erblassers eröffneten Nachlass zu erwerben.

Der Erbstatus richtet sich nach den rechtlichen Grundlagen, auf deren Grundlage eine geschäftsfähige Person erben kann. Die gesetzliche Erbfolge legt fest, ob eine bestimmte Person von Rechts wegen erben kann und, falls ja, in welcher Reihenfolge und in welchem Umfang.[30] Die gesetzlichen Erbfolgeregeln dienen als Standardregelung und finden Anwendung, wenn der Erblasser kein gültiges Testament hinterlassen hat oder wenn das Testament nicht den gesamten Nachlass abdeckt.[31] Die Testierfreiheit hingegen ist ein wesentlicher Ausdruck der Privatautonomie des Erblassers, deren Umfang durch die zwingenden Vorschriften der Rechtsordnung begrenzt wird.[32] Das Verhältnis zwischen diesen beiden Formen der Erbfolge ist kein alternatives, sondern ein komplementäres; gemeinsam gewährleisten sie die Vollständigkeit der Nachlassabwicklung.

Die rechtliche Stellung des Erben richtet sich nach dem Umfang der Erbfolge. Die testamentarische Erbfolge ist in der Regel universell; das Rechtssystem erkennt jedoch auch eine gesonderte Rechtsinstitution an, die auf den Erwerb bestimmter Vermögenswerte

[23] Gesetz Nr. IV von 1990 über Gewissens- und Religionsfreiheit sowie über Kirchen; Gesetz Nr. XXXII von 1991 über die Rückgabe von Eigentum an Kirchen und die Klärung ihrer Eigentumsverhältnisse;

[24] Artikel VII des Grundgesetzes; Gesetz CCVI von 2011 über das Recht auf Gewissens- und Religionsfreiheit sowie über die Rechtsstellung von Kirchen, Religionsgemeinschaften und religiösen Gemeinschaften (Ehtv.), § 7 Abs. 1; András Molnár: *Der Stellenwert kirchlicher juristischer Personen im zivilrechtlichen System*. Magyar Jog, 2017/3, 129–138.

[25] Gesetz Nr. V von 2013 über das Bürgerliche Gesetzbuch (Ptk.), § 3:1 Abs. 1; § 3:2; Imre Szabó: *Allgemeine Vorschriften über juristische Personen im neuen Bürgerlichen Gesetzbuch*. Zivilrecht, 2014/2, 3–12.

[26] § 7/A Abs. 1 und § 11/A des Gesetzes über die Rechtsstellung juristischer Personen;

[27] Verfassung der Reformierten Kirche in Ungarn (MRE), Kapitel II; Kodex des kanonischen Rechts (Codex Iuris Canonici), Kanones 1254–1257; Grundgesetz von Ungarn (25. April 2011), Artikel VII (3); §§ 19–20 des Ehtv.;

[28] Gesetz Nr. V von 2013 über das Bürgerliche Gesetzbuch (Ptk.), § 3:1 Abs. 1; § 7:1; sowie § 19 des Ehtv., unter besonderer Berücksichtigung der Vorschriften über den Erwerb und die Verwaltung von Vermögen durch kirchliche juristische Personen; Elemér Balogh: „Kirche, Eigentum, Autonomie". In: Elemér Balogh (Hrsg.): *Staat und Kirche im 21. Jahrhundert*. Dialóg Campus, Budapest, 2016. S. 145–162

[29] Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:1, 7:87, 7:25, 2:1

[30] Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:55–67 3

[31] Bürgerliches Gesetzbuch, § 7:3 3

[32] Bürgerliches Gesetzbuch, § 7:10; zur theoretischen Grundlage der Testierfreiheit siehe: András Osztovits (Hrsg.): *Umfassender Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch und den damit zusammenhängenden Rechtsvorschriften, Band IV*, Opten Informatikai Kft., Budapest, 2014. 436–442; András Földi und András Jakab: *Privatrecht* in: András Jakab, Miklós Könczöl, Attila Menyhárd und Gábor Sulyok (Hrsg.): *Online-Enzyklopädie der Rechtswissenschaften (Abschnitt über den allgemeinen Teil des Privat srechts*; Abschnittsherausgeber: András Földi) http://ijoten.hu/szocikk/maganjog [20. Februar 2026]. [58]

oder finanzieller Vorteile abzielt, nämlich das Vermächtnis.[33] Der Unterschied zwischen diesen beiden Regelungen liegt im Umfang der Erbfolge und in der Stellung des Erben innerhalb des Erbrechtsverhältnisses und wirkt sich wesentlich auf die erbrechtliche Stellung des Erben aus.[34]Benennt der Erblasser in seinem Testament einen Erben, wird dieser zum Rechtsnachfolger des gesamten Nachlasses oder eines bestimmten Anteils davon; es findet eine Gesamtrechtsnachfolge in Bezug auf den Nachlass statt; der Erbe wird vollwertiger Beteiligter am Erbe und trägt neben den mit dem Nachlass verbundenen Vermögensrechten auch die Verpflichtungen gemäß den Vorschriften über die Haftung für die Nachlassschulden. Im Falle eines Vermächtnisses hingegen erwirbt der Erbe lediglich einen Anspruch auf einen bestimmten Vermögensgegenstand, einen Geldbetrag oder einen sonstigen geldwerten Vorteil, ohne vollwertige Partei des Erbrechtsverhältnisses zu werden. Ein Vermächtnis führt zu einer Einzel n Erbfolge; der Begünstigte wird nicht zum allgemeinen Rechtsnachfolger im Rahmen des Erbrechtsverhältnisses, und die Verpflichtungen des Nachlasses gehen nicht auf ihn über.

Die Rechtslage im Erbrecht wird zudem durch Einschränkungen und Bedingungen geprägt. Einige dieser Einschränkungen sind allgemeiner Natur und gelten für alle Erbverhältnisse,[35] während eine andere Gruppe aus spezifischen Einschränkungen besteht, die sich auf die Person des Erben beziehen.[36]

Im Rahmen der Testierfreiheit kann der Erblasser in seinem Testament festlegen, für welchen Zweck der Erbe das vermachte Vermögen verwenden muss. Aus zivilrechtlicher Sicht sind solche Bestimmungen Teil des Testaments des Erblassers und – sofern sie nicht gegen gesetzliche Vorschriften oder die öffentliche Ordnung verstoßen – verbindlich.[37]

5. Die rechtliche Stellung der Kirche im Erbrecht, kirchliche Erbfolge

Eines der grundlegenden Merkmale der Rechtsstellung der Kirche in Erbschaftsangelegenheiten liegt in ihrem dualen normativen Rahmen. Die rechtliche Behandlung der Kirche in Erbschaftsangelegenheiten wird einerseits durch das Zivilrecht und andererseits durch interne Normen geprägt, die sich aus der kirchlichen Autonomie ergeben. Das Zivilrecht definiert den rechtlichen Rahmen und die Grundlagen des Erbrechts, während die normativen Bestimmungen der Kirche in Erbschaftsangelegenheiten innerhalb dieses Rahmens angewendet werden können, jedoch nicht im Widerspruch dazu stehen dürfen. Nach dem Zivilrecht richtet sich die Erbfähigkeit einer kirchlichen juristischen Person nach den allgemeinen Vorschriften für juristische Personen: Ihre Erbfähigkeit ist an das Vorliegen der Rechtspersönlichkeit und deren gesetzlich festgelegten Umfang gebunden. Dementsprechend ist die Kirche – als juristische Person – erbfähig, sofern ihre Rechtspersönlichkeit zum Zeitpunkt des Nachlassanfalls besteht.[38] Nach geltendem ungarischem Recht kann die Kirche nicht als gesetzlicher Erbe angesehen werden; ihr Erwerb von Vermögen durch Erbschaft kann auf einer Verfügung über das Vermögen im Todesfall beruhen – typischerweise einem Testament. Eine Verfügung zugunsten der Kirche kann in Form eines Vermächtnisses oder einer Zuwendung erfolgen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Rechtsinstituten ist entscheidend, wenn die Kirche über die Annahme, Verwaltung und Verwendung des Nachlasses entscheidet. Darüber hinaus gelten für die Kirche auch die allgemeinen erbrechtlichen Beschränkungen; sie ist jedoch aufgrund gesetzlicher Ermächtigung von bestimmten spezifischen Beschränkungen beim Erwerb von Vermögen befreit und kann somit beispielsweise durch eine testamentarische Verfügung das Eigentum an landwirtschaftlichen Grundstücken erwerben.[39]

Neben den staatlichen Rechtsvorschriften wird die erbrechtliche Stellung der Kirche auch durch konfessionelle Rechtsvorschriften geregelt, die – ergänzend zu den staatlichen Rechtsvorschriften und in einer Weise, die diesen nicht widerspricht – weitere Bedingungen und Einschränkungen für den Erwerb von Vermögen im Rahmen des Erbrechts vorsehen können. Der Erblasser kann in seinem Testament den Zweck festlegen, für den die kirchliche juristische Person das vermachte Vermögen verwenden muss. Bei der Annahme und Erfüllung solcher zweckgebundenen Vermächtnisse kann das kircheninterne Recht jedoch weitere Bedingungen und Verfahrensvorschriften vorsehen. Ein besonderes Merkmal testamentarischer Vermächtnisse zugunsten der Kirche besteht darin, dass deren Annahme und Verwaltung nicht ausschließlich privatrechtliche Angelegenheiten sind. Während die Gültigkeit und Wirksamkeit einer testamentarischen Verfügung nach den Regeln des Zivilrechts bestimmt werden, kann das kircheninterne Recht festlegen, welche kirchliche Instanz der Annahme eines bestimmten Vermächtnisses zustimmen muss und unter welchen Bedingungen es verwendet werden darf. Diese

[33] Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:31–7:34

[34] Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:87, 7:91, 7:99, 7:31–7:34

[35] Dazu gehören die Regelung des Pflichtteils (Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:75–7:82) sowie die Vorschriften über die Nichtigkeit testamentarischer Verfügungen (Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:38–7:40; 6:95–6:96), insbesondere die Nichtigkeit von Testamenten, die gegen die öffentliche Ordnung oder die guten Sitten verstoßen, sowie der Ausschluss von Rechten aus dem Erbe, die dem Erblasser persönlich zustehen und daher nicht übertragbar sind – wie beispielsweise Persönlichkeitsrechte und Nießbrauchsrechte (Bürgerliches Gesetzbuch, § 7:1).

[36] Beispiele hierfür sind Beschränkungen beim Erwerb landwirtschaftlicher Flächen durch juristische Personen (§§ 9–11 des Gesetzes CXXII von 2013 über die Übertragung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen (Grundstücksübertragungsgesetz)

[37] § 7:32 des Bürgerlichen Gesetzbuchs; Lajos Vékás: a. a. O., S. 88–90.

[38] §§ 10–12 des Grundstücksgesetzes; § 3:1 Abs. 1 und § 7:1 des Bürgerlichen Gesetzbuchs.

[39] Gesetz CXXII von 2013 über die Übertragung von land- und forstwirtschaftlichen Grundstücken, § 11 Abs. 2: „Das Eigentum an Grundstücken kann erworben werden durch (a) eine etablierte Kirche oder deren interne kirchliche juristische Person auf der Grundlage eines Unterhalts-, Leibrenten-, Pflege- oder Schenkungsvertrags sowie durch testamentarische Verfügung (…)“

normative Dualität hat keinen Einfluss auf die Gültigkeit der testamentarischen Verfügung nach privatem Recht; sie wirkt sich jedoch auf deren Durchsetzung aus,[40] , während die Regelungsautonomie der Kirche hinsichtlich der Verwendung von Vermögenswerten deutlich macht, dass sich die Rolle der Kirche im Erbrecht im Gegensatz zu anderen Erben nicht auf den Erwerb des Nachlasses beschränkt.

Die kirchliche Erbfolge ist somit eine besondere Rechtsinstitution, in der die Autonomie des Erblassers, zivilrechtliche Vorschriften und der normative Rahmen der kirchlichen Autonomie eng miteinander verflochten sind. Dies rechtfertigt eine gesonderte rechtliche Betrachtung von Vermächtnissen zugunsten der Kirche.

6. Erwerb kirchlichen Vermögens auf anderem Wege als durch Erbschaft

Der Erwerb von Vermögen im Todesfall ist an sich nicht gleichbedeutend mit einer Erbschaft. Ein charakteristisches Merkmal des Rechtsverhältnisses der Erbschaft ist die – auf gesetzlichen Bestimmungen oder einem Testament beruhende – Rechtsnachfolge, die sich auf die Gesamtheit des Nachlasses erstreckt und mit dem Eintritt des Nachlassfalls automatisch in Kraft tritt.[41] Im Gegensatz dazu erfolgt der Erwerb von Vermögen bei Rechtsansprüchen, die nicht auf dem Erbrecht beruhen, auf vertraglichem oder institutionellem Wege und findet im Rahmen eines vom Nachlass getrennten Rechtsverhältnisses statt. Aus rechtswissenschaftlicher Sicht ist es daher gerechtfertigt, zwischen der erbrechtlichen Nachfolge und jenen Rechtsordnungen zu unterscheiden, die zwar mit dem Todesfall verbunden sind, jedoch nicht zu einer Nachfolge im Nachlass führen. In diesem Zusammenhang beruht der Erwerb von Eigentum durch die Kirche nicht auf Erbschaft oder Vermächtnis, sondern ist mit anderen, davon getrennten Rechtskategorien verbunden.

Eine Schenkung im Todesfall ist eine vertragliche Vereinbarung, bei der das Rechtsverhältnis zwischen dem Schenkenden und dem Beschenkten zwar zu Lebzeiten des Schenkenden begründet wird, die Rechtswirkungen des Vermögensübergangs jedoch erst mit dem Tod des Schenkenden eintreten.[42] Dieser Rechtsanspruch ist vertraglicher Natur und unterscheidet sich dogmatisch von der Erbfolge, da er nicht zu einer Erbfolge führt, sondern zu einem vertraglich begründeten Vermögensübergang, bei dem der Tod des Erblassers eine Bedingung ist.[43] Ihre Bedeutung liegt vor allem darin, dass eine solche Zuwendung in der Regel nicht zum Nachlass gehört; sie muss jedoch in den gesetzlich festgelegten Fällen bei der Berechnung des Pflichtteils berücksichtigt werden.[44] Eine Schenkung im Todesfall zugunsten der Kirche ist rechtlich möglich, kommt in der Praxis jedoch seltener vor.

Ein typisches Beispiel für den Erwerb von Vermögen im Zusammenhang mit dem Tod, der jedoch nicht dem Erbrecht unterliegt, ist der Erwerb von Rechten auf der Grundlage der Benennung eines Begünstigten. Solche Regelungen finden sich vor allem im Zusammenhang mit Bankeinlagen, Versicherungsverträgen und Anlageverträgen[45] , bei denen die Identität des Begünstigten nicht durch die Erbfolge nach dem Erbrecht, sondern durch eine vertragliche Begünstigtenbenennung bestimmt wird.[46] Wird die Kirche als Begünstigte benannt, erfolgt der Erwerb des Vermögens unmittelbar nach dem Tod, unabhängig vom Nachlassverfahren. Dieser Rechtsanspruch stellt keine Erbschaft dar, da das Vermögen nicht Teil des Nachlasses wird und die Kirche das Recht nicht durch ein Erbe, sondern als direkte Begünstigte erwirbt; ihr Anspruch erstreckt sich jedoch nur auf den von der Bank reservierten konkreten Betrag.

Eine im Todesfall getroffene Stiftungsregelung ist eine Rechtserklärung „mortis causa“ (eine Vermögensverfügung für den Todesfall), mit der der Erblasser in einem Testament oder einem Erbvertrag eine Stiftung errichtet.[47] Eine durch eine solche Vermögensübertragung gegründete Stiftung entsteht mit ihrer Eintragung rückwirkend zum Zeitpunkt des Todes des Stifters.[48] In diesem Fall wird nach dem Tod des Erblassers nicht die Kirche zum Rechtsnachfolger, sondern es entsteht eine neue juristische Person – die Stiftung –, die das übertragene Vermögen verwaltet. Bei dieser Regelung fungiert die Kirche nicht als Erbin, sondern als Begünstigte, Förderin oder Organisation, die bei der Erfüllung des Zwecks mitwirkt. Die Bedeutung dieser Rechtsform liegt insbesondere darin, dass sie die dauerhafte Trennung und institutionelle Verwaltung von Vermögenswerten ermöglicht, die für einen bestimmten Zweck vorgesehen sind.

Ein spezifischer Rechtsanspruch, der sich vom Erbrecht unterscheidet und im Todesfall zum Tragen kommt, ist der Unterhalts- oder Leibrentenvertrag. Schließt der Erblasser einen Unterhalts- oder Leibrentenvertrag mit der Kirche oder einer juristischen Person des kirchlichen Rechts ab und macht er die Übertragung des Eigentums von seinem Tod abhängig,

[40] Siehe auch § 6:118 des Bürgerlichen Gesetzbuchs bezüglich des Erwerbs von Eigentum, der der Zustimmung kirchlicher Gremien gemäß § bedarf

[41] Bürgerliches Gesetzbuch, § 7:1; § 7:87

[42] § 7:53 des Bürgerlichen Gesetzbuchs

[43] Ferenc Fábián: *Der Erbvertrag. Schenkungen im Todesfall. Verfügung über eine zu erwartende Erbschaft*; in: István Sándor (Hrsg.) *Zivilrecht III – Erbrecht, Familienrecht; Budapest: Patrocinium Verlag* (2021) 48–54.

[44] Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 7:80–81

[45] Beispiele hierfür sind die Benennung eines Begünstigten im Todesfall im Rahmen einer Lebensversicherung, eines freiwilligen Rentenversicherungskontos oder eines Bankkontos.

[46] Bürgerliches Gesetzbuch, §§ 6:439, 6:478, 6:390, 6:391–393; József Banyár, Koppány Nagy: *Zur Situation hinsichtlich des Schutzes von Begünstigten im Todesfall in Ungarn*, „Versicherung und Risiko“ 2, 2015, S. 76–85

[47] Bürgerliches Gesetzbuch, § 3:388; Zivilrecht I–IV – Neues Bürgerliches Gesetzbuch – Kommentar für Praktiker, Stand: 15. Januar 2025, Gesetzessammlung [20. Januar 2026]

[48] Zoltán Csehi: *Der Zeitbegriff im Bürgerlichen Gesetzbuch und das Zeitverständnis in unserem Privatrecht, Monographien zur Rechtswissenschaft 4*, Iustum Aequum Salutare, Pázmány-Verlag, Budapest, 2013, S. 102.

so geht das Vermögen nicht im Wege der Erbfolge, sondern auf der Grundlage des Vertrags über.

7. Der kirchenrechtliche Ansatz

Das Erbe ist eine mögliche Quelle kirchlichen Vermögens.

Das Kirchenrecht versteht kirchliches Vermögen nicht als allgemeine Kategorie von Eigentumsrechten, sondern als zweckgebundenes Gemeinschaftsvermögen. Die Funktion des kirchlichen Vermögens besteht darin, den religiösen, gemeinschaftlichen und institutionellen Aufgaben der Kirche zu dienen, die dessen Verwaltung und Nutzung bestimmen.

Durch Erbschaft erworbenes Vermögen fügt sich in diese Zwecklogik ein. Die Rechtsgrundlage für den Erwerb von Vermögen bestimmt nicht an sich den kirchenrechtlichen Status des Vermögens; dieser wird vielmehr durch interne Normen und Entscheidungsmechanismen festgelegt.

Was durch Erbschaft erworbenes Vermögen betrifft, stützt sich das Kirchenrecht der katholischen Kirche auf den Begriff der „bona ecclesiastica“, der das gesamte Vermögen umfasst, das von den juristischen Personen der Kirche rechtmäßig erworben wurde.[49] Die Rechtsgrundlage für den Erwerb von Vermögen – wie beispielsweise durch Erbschaft oder Vermächtnis – ist im Vergleich zu den kirchlichen Zwecken, denen das Vermögen dient, von untergeordneter Bedeutung. Auch das reformierte und das lutherische Kirchenrecht unterscheiden nicht zwischen Erbschaft und anderen Gründen für den Erwerb von Vermögen, sondern legen den Schwerpunkt auf den beabsichtigten Zweck und die gemeinschaftliche Funktion des erworbenen Vermögens.[50] In diesen Rechtssystemen wird die Erbschaft in erster Linie als eine Frage der Verwaltung und Verantwortung behandelt.

Genau aus diesem Grund ist die Annahme von durch Erbschaft erworbenem Vermögen keine automatische rechtliche Folge, sondern ein Verfahren, das eine Entscheidung nach kirchlichem Recht erfordert. Interne Vorschriften geben der Kirche die Möglichkeit, die Folgen der Annahme einer Erbschaft abzuwägen, insbesondere im Hinblick auf etwaige Belastungen, Verpflichtungen und Nutzungsbeschränkungen des Vermögens. Bei der Prüfung der Annahme untersucht das Kirchenrecht nicht die zivilrechtliche Gültigkeit, sondern vielmehr, ob das durch Erbschaft erworbene Vermögen mit dem Zweck der Kirche und den Grundsätzen der Finanzverwaltung vereinbar ist.

7.1. Die Grundsätze der kirchlichen Vermögensverwaltung

Die Grundprinzipien der kirchlichen Vermögensverwaltung folgen unabhängig von konfessionellen Unterschieden einer ähnlichen Logik. Die Kirche ist berechtigt, Vermögen zu erwerben und zu halten, doch unabhängig von der Rechtsgrundlage für dessen Erwerb unterliegt dieses Vermögen nicht der freien Verfügung im privatrechtlichen Sinne; vielmehr ist es ein Mittel zur Erfüllung gemeinschaftlicher Zwecke, eine gemeinschaftliche Ressource im Dienste des kirchlichen Auftrags, bei deren Verwaltung die Anforderungen der Sorgfalt, der Rechenschaftspflicht und der zweckgebundenen Verwendung im Vordergrund stehen.[51] Die Verwaltung und Nutzung von Vermögen, das aus an den Tod geknüpften Gründen – wie durch Erbschaft, Vermächtnis oder andere Vereinbarungen – erworben wurde, kann nicht frei bestimmt werden, sondern muss innerhalb des durch das Testament des Erblassers und durch das kirchliche Recht festgelegten Rahmens erfolgen.[52]

Nach dem katholischen Kirchenrecht ist Vermögen kein eigenständiger wirtschaftlicher Vermögenswert, sondern ein Instrument des kirchlichen Auftrags; Entscheidungen über den Erwerb und die Verwaltung von Vermögen müssen drei Zwecken dienen: der Aufrechterhaltung des Gottesdienstes (cultus divinus), der angemessenen Versorgung des Klerus (clerus honestus sustentatio) sowie apostolischen und karitativen Zwecken (opera apostolatus et caritas). Die Kirche kann Vermögen durch Schenkungen, Vermächtnisse oder Verträge erwerben und im Todesfall auch Zuwendungen annehmen, jedoch stets in Übereinstimmung mit den kirchenrechtlichen Normen und dem Recht des jeweiligen Staates ([53]), wobei – insbesondere im Falle frommer Stiftungen und Traditionen – der Schutz des Stifters oder Schenkers zu wahren ist (religiose servari debet).[54] Das Vermögen ist nicht persönliches Eigentum des kirchlichen Amtsträgers, sondern gehört kirchlichen juristischen Personen. Die Annahme, Verwaltung und Veräußerung von Vermögen unterliegen der Genehmigung durch die zuständigen kirchlichen Behörden, insbesondere bei Spenden von erheblichem Wert oder solchen, die für einen bestimmten Zweck bestimmt sind.[55] Bei der Verwaltung des Vermögens unterliegt die Verantwortung der kirchlichen Amtsträger dem Grundsatz der Sorgfalt eines guten Familienvaters (diligentia boni patris familias) und der Rechenschaftspflicht.[56] Die Verwaltung des Vermögens der katholischen Kirche ist gemeinschaftlicher Natur, zweckgebunden, hierarchisch kontrolliert und unterliegt rechtlicher und moralischer Verantwortung.

Das reformierte Kirchenrecht betont den gemeinschaftlichen Charakter und die Funktionalität des Vermögens. Das Kirchenvermögen ist ein Mittel, das dem Dienst am Auftrag der Kirche gewidmet ist; der Zweck des Vermögens besteht darin, die Verkündigung des Wortes und die Spendung der Sakramente zu gewährleisten, den Pfarrer und die Mitarbeiter der Kirche zu unterstützen, diakonische und pädagogische Aufgaben zu erfüllen sowie die für das Gemeindeleben notwendige Infrastruktur zu erhalten.

[49] Codex Iuris Canonici (1983) (CIC) Kanones 1257–1258
[50] CIC 1254–1310.
[51] CIC 1284.
[52] CIC 1284.
[53] Canon 1290 des CIC sieht vor, dass die Normen des staatlichen Zivilrechts anzuwenden sind, sofern sie nicht im Widerspruch zum göttlichen Recht stehen.
[54] CIC 1300
[55] CIC 1277, 1291–1295.
[56] Codex Iuris Canonici, Kanon 1284

Das Vermögen ist daher funktional – es ist kein Selbstzweck, sondern dient missionarischen und diakonischen Zwecken; bei seiner Verwendung müssen jedoch die Wünsche des Spenders respektiert werden, sofern sie nicht im Widerspruch zum Kirchenrecht stehen. Die reformierte Kirche ist von unten nach oben aufgebaut; folglich ist das Eigentum „ “ weder hierarchisch noch zentralisiert, sondern das Vermögen befindet sich in erster Linie im Besitz der Gemeinden, während „ “ die Diözese, der Kirchenbezirk und die Landeskirche ebenfalls eigenständige juristische Personen sind. Entscheidungen über den Erwerb von Vermögenswerten werden autonom getroffen, bedürfen jedoch der Genehmigung durch übergeordnete kirchliche Gremien. Ausgangspunkt des reformierten Denkens ist, dass Gott der letztendliche Eigentümer aller materiellen Güter ist; die Kirche und ihre Mitglieder sind lediglich Verwalter. Diese aus der calvinistischen Theologie abgeleitete Perspektive bildet die Grundlage der finanziellen Haushaltung, die nicht nur eine rechtliche, sondern auch eine moralische Kategorie darstellt. Dementsprechend betont das interne Recht der Reformierten Kirche in Ungarn die Notwendigkeit einer angemessenen, transparenten und verantwortungsvollen Finanzverwaltung.[57]

Während das katholische Eigentumsrecht eine hierarchische Kontrolle durchsetzt, unter kirchlichem Recht zentralisiert ist und starken Wert auf die Heiligkeit legt, betont das reformierte Denken zum Eigentumsrecht die presbyterial-synodale Kontrolle, die kollegiale Autonomie, einen funktional-kommunalen Ansatz und die kollegiale Zustimmung. Der lutherische Ansatz in Bezug auf kirchliches Eigentum ist, ähnlich wie der reformierte, auf Treuhandschaft und Gemeinschaft ausgerichtet und folgt ähnlichen Prinzipien, wobei besonderer Wert auf Rechenschaftspflicht und die Aufsichtsfunktion kirchlicher Gremien gelegt wird;[58] gleichzeitig ist er stärker institutionalisiert und unterliegt strengeren normativen Regelungen. Das Eigentum ist nicht zentral konzentriert, sondern mehrstufig, wobei das Vermögen dem Auftrag der Kirche untergeordnet ist. Auch hier erfolgt die Vermögensverwaltung im Rahmen kollektiver Entscheidungsfindung.

7.2. Kirchliche Genehmigungsverfahren

Kirchliche Rechtssysteme greifen in Fällen des Vermögenserwerbs nach einem Todesfall in der Regel auf institutionalisierte Genehmigungs- oder Entscheidungsmechanismen zurück. Die Annahme einer Schenkung, eines Vermächtnisses oder einer sonstigen Zuwendung im Todesfall unterliegt in der Regel nicht dem persönlichen Ermessen eines einzelnen Amtsträgers, sondern ist ein Vorgang, über den ein kirchliches Gremium oder eine übergeordnete kirchliche Instanz entscheidet. Der Grund dafür ist, dass auf diese Weise erworbenes Vermögen nicht als Privateigentum, sondern als Gemeinschaftseigentum der kirchlichen Rechtspersönlichkeit betrachtet wird, über dessen Verwendung gemäß der institutionellen Ordnung der Gemeinschaft entschieden werden muss.

Im katholischen Rechtssystem, das auf dem Codex Iuris Canonici basiert, beruht die Verwaltung kirchlichen Vermögens auf der Unterscheidung zwischen ordentlicher und außerordentlicher Verwaltung. Bei der Annahme von Spenden von höherem Wert oder solchen, die bestimmten Bedingungen unterliegen oder für einen bestimmten Zweck vorgesehen sind, ist die Rolle des Diözesanbischofs entscheidend; ab einer bestimmten Wertgrenze kann auch die Genehmigung des Heiligen Stuhls erforderlich sein. Die Genehmigungspflicht ist besonders wichtig, wenn die Spende an Bedingungen geknüpft ist, den Charakter einer Stiftung hat oder eine langfristige Verpflichtung beinhaltet. Ziel der Entscheidung ist es nicht, die zivilrechtliche Gültigkeit zu prüfen, sondern zu beurteilen, ob die Annahme und Verwaltung der betreffenden Vermögenswerte mit dem Bestimmungszweck des kirchlichen Vermögens und den Interessen der Gemeinschaft vereinbar sind.

Gemäß den internen Vorschriften der Reformierten Kirche in Ungarn und der Evangelischen Kirche in Ungarn wird die Entscheidung über die Annahme eines Vermächtnisses oder einer bedeutenden Spende von dem zuständigen kirchlichen Gremium – in der Regel dem Presbyterium, der Generalversammlung oder einem übergeordneten kirchlichen Gremium – getroffen und bedarf der Zustimmung eines übergeordneten kirchlichen Gremiums.

Der Zweck dieser Genehmigungsmechanismen besteht nicht darin, das Rechtsverhältnis der Erbschaft zu beeinflussen, sondern sicherzustellen, dass die Verwaltung des erworbenen Vermögens im Einklang mit dem Auftrag und den internen Normen der Kirchengemeinde steht. Diese Institutionalisierung der Entscheidungsfindung ist ein wichtiges Mittel zur Verwirklichung der kirchlichen Autonomie auf organisatorischer Ebene.

8. Das Verhältnis zwischen kirchlichem Recht und weltlichem Recht im Zusammenhang mit dem Erwerb von Vermögen nach dem Tod

Bei der Erwerbung von Eigentum im Todesfall bestehen kirchliches Recht und weltliches Recht nebeneinander, erfüllen jedoch unterschiedliche Funktionen. Das Zivilrecht regelt, ob der Erwerb von Eigentum gültig ist, wann und wie die Erbfolge erfolgt, wer Eigentümer wird und welche äußeren Rechtswirkungen gegenüber Dritten entstehen. Die Kirche als juristische Person tritt in diesem Zusammenhang als zivilrechtliches Subjekt auf, und ihr Vermögenserwerb er t gemäß den vom weltlichen Recht festgelegten Bedingungen. Das Zivilrecht regelt daher die Gültigkeit des Eigentumsanspruchs, den Eigentumsübergang, die Erbbeschränkungen und den Gläubigerschutz sowie all jene Fragen, die unter dem Gesichtspunkt der Rechtssicherheit und der Einheit der

[57] Gesetz IV von 2013 über die Finanzverwaltung der Reformierten Kirche in Ungarn www.reformatus.hu [21. Januar 2026]

[58] Gesetz VI von 2016 der Evangelischen Kirche in Ungarn über die Kirchenfinanzen https://zsinat.evangelikusoldalak.hu/wp-content/uploads/sites/9/2025/06/2016.-evi-VI. -toerveny.pdf [2. März 2026].

Rechtsgeschäfte entscheidend sind. Das Kirchenrecht hingegen prüft nicht die äußere Gültigkeit des Erwerbs von Vermögen, sondern regelt den kanonischen Status des erworbenen Vermögens. Die vorrangige Frage ist hier nicht, ob die Kirche das Vermögen rechtswirksam erworben hat, sondern wie sich das bereits erworbene Vermögen in die innere Ordnung und den Zweck der Kirche einfügt. Kirchenrechtliche Normen regeln die Zulässigkeit von Vermögenszuwachs, insbesondere wenn die Zuwendung an Bedingungen oder Belastungen geknüpft ist; sie legen zudem die Anforderungen an die bestimmungsgemäße Verwendung sowie die internen Entscheidungs- und Genehmigungsmechanismen fest. Dazu gehören die Kontrolle über die Veräußerung von Vermögenswerten und bedeutende Finanztransaktionen sowie die Verpflichtung, den Willen des Stifters oder Spenders zu respektieren.

Das katholische Rechtssystem erkennt diese duale Struktur ausdrücklich an. Kanon 1290 des Codex Iuris Canonici besagt, dass die Bestimmungen des weltlichen Rechts – soweit sie nicht im Widerspruch zum göttlichen Recht stehen – auch im kanonischen Recht gelten. Das kanonische Recht betrachtet daher den Erwerb von Eigentum nach zivilrechtlichem Recht als gegeben und baut darauf sein eigenes Regelwerk bezüglich kirchlichen Eigentums auf. Zweck und Verwaltung kirchlichen Vermögens werden durch kanonische Normen bestimmt, doch diese stufen das zivilrechtliche Eigentumsrecht weder neu ein, noch schaffen sie davon unabhängige Erwerbskategorien.[59] Eine ähnliche Logik gilt im internen Recht protestantischer Kirchen. Die Vorschriften der Reformierten Kirche in Ungarn und der Evangelischen Kirche in Ungarn überprüfen die zivilrechtliche Gültigkeit nicht erneut, sondern konzentrieren sich auf die Verwaltung, Nutzung und Kontrolle des erworbenen Vermögens. Die Entscheidungsfindung erfolgt in einem kollegialen Rahmen, wobei der Schwerpunkt auf einer verantwortungsvollen Verwaltung im Einklang mit dem vorgesehenen Zweck liegt. Auch die protestantischen Modelle beinhalten keine parallele kirchliche Neuklassifizierung zivilrechtlicher Kategorien. Insgesamt agieren die beiden Rechtssysteme im Zusammenhang mit dem Erwerb von Vermögen im Todesfall in unterschiedlichen, sich jedoch ergänzenden Bereichen. Das Zivilrecht regelt den Eigentumsstatus und die äußeren Rechtswirkungen, während das Kirchenrecht Fragen des internen Zwecks, der organisatorischen Kontrolle und der Rechenschaftspflicht regelt. Das interne Kirchenrecht kann das Zivilrecht nicht ersetzen, seine dogmatischen Kategorien nicht ändern und kein eigenständiges System des Vermögenserwerbs schaffen, das Vorrang vor der weltlichen Rechtsordnung hat. Gerade diese duale, komplementäre Funktionsweise ermöglicht die Ausübung kirchlicher Autonomie unter Wahrung der Einheit der Vermögensgeschäfte und der Integrität des weltlichen Rechtssystems.

9. Aktuelle Herausforderungen

Der dogmatische Rahmen für den Erwerb von Kirchenvermögen im Todesfall bleibt im Wesentlichen stabil. Die klassischen Institutionen des Erbrechts – wie die Testierfreiheit, der Pflichtteil und die Nichtigkeitsklauseln – wirken seit geraumer Zeit innerhalb eines unveränderten Rahmens, und es ist kein Trend in der Rechtsentwicklung zu beobachten, der speziell darauf abzielen würde, die Verfügungsautonomie des Erblassers einzuschränken. Die aktuellen Herausforderungen liegen nicht in einer Veränderung der Grundprinzipien des Erbrechts, sondern in der zunehmenden Komplexität des rechtlichen und gesellschaftlichen Umfelds. Bestimmungen über Vermächtnisse an die Kirche im Todesfall wirken nun in einem regulatorischen, finanziellen und technologischen Umfeld, das sowohl für die Kirche als auch für das Rechtssystem neuen Anpassungsdruck erzeugt.

9.1. Staatliche Regulierung und kirchliches Erbe

Der Staat hat bislang noch keine gesonderte Rechtsordnung für Vermächtnisse zugunsten der Kirche und deren Grenzen geschaffen. Derartige Bestimmungen unterliegen den allgemeinen Regeln des Erbrechts, und die Einschränkungen der Testierfreiheit – insbesondere die öffentliche Ordnung, die guten Sitten und die Pflichtteilsregelung – gelten in gleicher Weise wie bei jedem anderen Begünstigten. Staatliche Eingriffe in den Erwerb von Vermögen durch Erbschaft zielen nicht darauf ab, den Erwerb von Vermögen durch die Kirche oder andere Erben im Wege der Erbschaft einzuschränken, sondern vielmehr darauf, sicherzustellen, dass die Ausübung der Testierfreiheit im Einklang mit den grundlegenden Funktionen und Prinzipien des Erbrechts bleibt. Insgesamt bleiben staatliche Beschränkungen von Vermächtnissen zugunsten der Kirche innerhalb des allgemeinen dogmatischen Rahmens des Erbrechts und beurteilen nicht die spezifischen Merkmale des kirchlichen Begünstigten, sondern die Harmonie zwischen der Testierfreiheit und dem Zweck des Erbrechts. Die aktuelle Herausforderung „liegt nicht in der Verschärfung der klassischen Erbrechtslehre, sondern in der Differenzierung des regulatorischen Umfelds.

Die Verwendung von durch Erbschaft erworbenen Vermögenswerten wird mittlerweile nicht nur durch die Rahmenbedingungen des Erbrechts beeinflusst, sondern auch durch andere zivilrechtliche Bestimmungen (Recht der juristischen Personen, Schuldrecht usw.) sowie durch Anforderungen in den Bereichen Rechnungslegung, Steuerrecht,[60] Geldwäschebekämpfung und Transparenz. Die Finanzverwaltung kirchlicher juristischer Personen – insbesondere im Falle bedeutender finanzieller Vermächtnisse – kann erhöhten Verwaltungs- und Compliance-Anforderungen unterliegen. Der Schwerpunkt liegt daher nicht auf einer Einschränkung der Autonomie des Erblassers, sondern auf der Differenzierung externer Kontrollen über die

[59] Codex Iuris Canonici, Kanones 1290–1292

[60] Ildikó Szabó: *Tax Structures Before and After COVID-19: An International Comparative Analysis*. *Hungarian Review.* 2022/3. pp. 47-58.

Geschäftstätigkeit der Einrichtung. Diese Komplexität schränkt die Ausübung der kirchlichen Autonomie zwar nicht unmittelbar ein, bringt jedoch neue Anpassungsaufwände auf organisatorischer und operativer Ebene mit sich.

9.2. Struktureller Wandel der Kirchenfinanzierung, institutionelle Formen der Vermögensverteilung

Ein weiterer zentraler Bereich aktueller Herausforderungen ist der strukturelle Wandel bei der Finanzierung der Kirche. Neben traditionellen Vermächtnissen gewinnen institutionelle Formen der Vermögensübertragung zunehmend an Bedeutung, bei denen die Kirche Vermögenswerte nicht direkt als Erbin oder durch ein traditionelles Vermächtnis erwirbt, sondern über Stiftungen, eine getrennte Vermögensverwaltung oder andere Regelungen unter Einbeziehung von Finanzintermediären.[61] Diese Konstruktionen ermöglichen es, dass das vermachte Vermögen, das gemäß den Absichten des Erblassers für einen bestimmten Zweck bestimmt ist, organisatorisch getrennt und ausschließlich für den vom Erblasser festgelegten Zweck verwendet wird,[62] was gut zum funktionalen Vermögensverständnis der Kirche passt. Gleichzeitig ergeben sich neue rechtliche Fragen in den Bereichen Eigentumszuordnung, Haftung, Aufsicht und Transparenz. Die Herausforderung besteht dabei darin, wie sich traditionelle Kategorien des Erbrechts und das kircheninterne Vermögensrechtssystem an immer komplexere Finanzstrukturen anpassen lassen, ohne die kirchliche Autonomie oder die Rechtssicherheit zu beeinträchtigen.

9.3. Digitalisierung und neue Formen von Vermögenswerten

Die Regelung der Vererbung digitaler Vermögenswerte – wie Online-Konten, Kryptowährungen[63], sonstige virtuelle Vermögenswerte und digitale Rechte – befindet sich noch in der Entwicklung, was auch neue Herausforderungen für die Vermögensverwaltung der Kirche mit sich bringt. Aus Sicht der Kirche wirft die Vererbung dieser Vermögensformen nicht nur die Frage der rechtlichen Nachfolge nach dem Erbrecht auf, sondern auch Fragen hinsichtlich der Identifizierung, Annahme und Verwaltung des Vermögens. Bei digitalen Vermögenswerten ist oft unklar, unter welchen Bedingungen sie erworben und genutzt werden dürfen.[64] Ein besonderes Merkmal digitaler Vermögenswerte ist, dass sie einen erheblichen Wert haben können, ihre Verwaltung spezielles Fachwissen erfordert und die mit ihnen verbundenen Risiken sich von denen traditioneller Vermögenswerte unterscheiden. Aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung muss sich die kirchliche Vermögensverwaltung jedoch innerhalb kurzer Zeit auch an diese neuen Vermögensformen anpassen. Traditionelle interne Regelungen sind darauf noch nicht unbedingt vorbereitet, doch langfristig wird dies sicherlich eine weitere dogmatische Weiterentwicklung des Erbrechts erfordern.

---

[61] Das Privatrecht erkennt bereits zahlreiche Formen solcher institutioneller Vermögensübertragungen und -verwaltungen an; ihre Spezialisierung im Hinblick auf Kirchen und Erbschaften sowie die Feinabstimmung der entsprechenden Regelungen stehen jedoch noch aus. Eine mögliche Methode der institutionellen Vermögensübertragung ist die Gründung einer gemeinnützigen Vermögensverwaltungsstiftung, über die der Staat bedeutende Vermögenswerte – einschließlich der durch Erbschaft erworbenen – oder vom Erblasser für die Wahrnehmung kirchlicher oder öffentlicher Aufgaben bestimmte Vermögenswerte an Stiftungen übertragen kann, deren Zweck die Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben ist und deren Stiftungsrat (auch) kirchliche Persönlichkeiten oder von der Kirche entsandte Mitglieder umfassen kann. Das Vermögen gehört der Stiftung, und der beabsichtigte Zweck der Übertragung – der langfristige Betrieb kirchlicher Einrichtungen (Bildungs-, Kultur- und Sozialeinrichtungen) – wird dadurch verwirklicht. Das Modell der treuhänderischen Vermögensverwaltung ermöglicht die Trennung der Verwaltung kirchlicher Vermögenswerte von religiösen Aktivitäten und gewährleistet durch seine gewinnorientierte Führung langfristige Nachhaltigkeit. Über eine Treuhandstiftung oder einen Treuhandvertrag kann die Kirche als Begünstigte Erträge oder Kapital erhalten, während der Treuhänder der rechtliche Eigentümer der Vermögenswerte ist. Im Falle einer Stiftungs-Treuhand fungiert die Kirche als Stifterin, oder es wird eine unentgeltliche Stifter- oder Mitgliedertreuhand zugunsten der Kirche errichtet; das übertragene Vermögen geht in das Eigentum der Stiftung über, die es getrennt verwaltet. Eine solche Treuhand kann unter bestimmten Voraussetzungen auch im Todesfall errichtet werden. Schließlich gibt es die langfristige Vermögensverwaltung oder die Übertragung von Vermögensverwaltungsrechten, bei der die Vermögensverwaltungsrechte auf „sui generis"-Weise (einzigartig) definiert werden, wodurch die Trennung des Vermögens gewährleistet ist. Eine einzigartige Regelung innerhalb der institutionalisierten Vermögensverwaltung ist die kirchliche Vermögensverwaltungsstiftung, bei der es sich um Stiftungen handelt, die von kirchlichen juristischen Personen gegründet wurden oder der Verwaltung des an sie übertragenen Vermögens – auch im Wege der Erbschaft – gewidmet sind. Durch die Feinabstimmung dieser Regelungen zur Übertragung von Vermögen im Todesfall – insbesondere bei Kirchen, die eine wichtige Rolle bei der Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben spielen – können neue Instrumente zur langfristigen Finanzierung ihrer Tätigkeit geschaffen werden. (Quelle: https://mahanakornpartners.com/asset-diversion-structures-for-tax-deferral-and-wealth-management, abgerufen am 3. März 2026)

[62] Ádám Boóc: *Einige aktuelle Fragen des Erbrechts,* Notarblatt, Budapest 2024/2, 52–73.

[63] Halász Zsolt: Az állami pénzkibocsátás vs virtuális fizetőeszközök. In: Halász Zsolt (ed).: *Magistra et Fautrix: Halustyik Anna emlékére*, Pázmány Press Budapest, 2019., 167-182.

[64] Ildikó Szabó: Possibilities and Practical Experiences of Using Artificial Intelligence in Taxation. *PÁZMÁNY LAW REVIEW* 11 : 1 pp. 53-66., 14 p. (2024)

THE CONCEPT OF GUILT AND ITS NORMATIVE TRANSFORMATION IN MODERN LAW

Lela Gudadze
Doctoral student
Scientific Supervisor: Amiran Mosulishvili
Grigol Robakidze University
DOI: 10.5281/zenodo.21471949

Abstract

This study examines the normative transformation of the concept of guilt in modern criminal law and its main doctrinal developments. The aim of the paper is to demonstrate how guilt has evolved from a classical psychological category into a normative-legal institution that constitutes one of the primary foundations for the imposition of criminal liability. The research analyzes both the classical psychological and the modern normative theories of guilt. According to the classical approach, guilt was understood as the individual's internal psychological attitude toward the act and its consequences, whereas the modern normative theory is based on the individual's capacity to act in accordance with the requirements of law. Particular attention is paid to the essential elements of guilt: culpability (criminal capacity), the potential awareness of unlawfulness, and the possibility of acting differently. It is emphasized that these components form the foundation for the individualization of criminal responsibility and for the imposition of fair punishment. The study further highlights that modern criminal law rejects automatic liability and instead requires an assessment of the individual's capacities and the specific circumstances of the case. The article also analyzes the influence of German criminal law doctrine on contemporary Georgian law, particularly in relation to the normative understanding of guilt and the personalization of criminal responsibility. It is noted that modern approaches treat guilt not only as a psychological category but also as a legal and value-based concept that upholds the principles of the rule of law, human dignity, and justice. The study concludes that the normative transformation of guilt has played a significant role in the humanization of modern criminal law and in the formation of a fair system of criminal responsibility. In its contemporary understanding, guilt represents a key criterion for legitimizing state punitive power and ensures the individualized and legally justified imposition of criminal liability.

Keywords: guilt; criminal liability; normative theory of guilt; psychological theory of guilt; culpability; criminal capacity; awareness of unlawfulness; rule of law; criminal law doctrine; individualized criminal responsibility.

Introduction

The institution of guilt represents one of the fundamental pillars of the criminal justice system, as it determines the legitimacy of imposing criminal liability on an individual by the state. Modern criminal law cannot be satisfied merely with the existence of an unlawful act or a socially dangerous consequence; it is necessary to establish a legal basis for individual attribution, confirming that the act was committed under conditions in which compliance with the requirements of law was possible. This function is fulfilled by the concept of guilt, which in contemporary doctrine is regarded not only as a psychological category but also as a normative-legal construct.

The development of the concept of guilt is closely connected with the historical evolution of criminal law and the formation of the rule of law. Classical theories of criminal law primarily understood guilt as the internal psychological attitude of a person toward the committed act and its consequences. According to this approach, the basis of liability was intent or negligence, while the normative evaluative element played a relatively minor role. However, with the development of legal systems, it became evident that a purely psychological approach could not ensure a fair and individualized determination of responsibility, particularly in cases where external circumstances, coercion, or other objective factors significantly influenced the individual's conduct.

On the basis of these challenges, the normative theory of guilt emerged, fundamentally transforming its doctrinal understanding. According to the modern normative approach, guilt is no longer merely a description of the individual's psychological state; rather, it is a legal issue based on the assessment that, in the specific circumstances, the person could have acted in accordance with the law but failed to do so. Thus, the core of guilt shifts from the individual's consciousness and will to their freedom, capacity for choice, and responsibility within the legal order.

The normative transformation of guilt acquired particular significance under the conditions of the rule of law, where the state is obliged to exercise its punitive power strictly within legally defined limits. Modern criminal law rejects automatic models of liability and requires an assessment of the individual's personal situation, capacities, and concrete circumstances. This approach has led to the humanization of the concept of guilt and its transformation into one of the key mechanisms of legal justice.

In contemporary doctrine, guilt is considered a complex structure comprising several essential elements: culpability (criminal capacity), the potential awareness of unlawfulness, and the possibility of acting differently. Each of these components is necessary for liability to be considered legally legitimate. Culpability determines the individual's ability to understand the significance of their conduct and control their behavior; the potential awareness of unlawfulness refers to the ability to recognize the prohibited nature of the act; while the possibility of acting differently constitutes the

criterion that ultimately justifies the imposition of liability.

It is also important to emphasize that, in modern criminal law, guilt is no longer directly associated with the philosophical concept of absolute free will. Contemporary doctrine is largely based on legally assessable freedom, meaning the real capacity of an individual to make a lawful choice in a specific situation. In this way, guilt becomes a practically applicable legal institution, freed from abstract metaphysical interpretations.

The modern understanding of guilt has been significantly influenced by German criminal law doctrine, which has particularly developed the normative theory of guilt and the principle of individualized responsibility. The influence of the German legal school is clearly reflected in contemporary Georgian criminal doctrine and judicial practice, where there is an increasing tendency to resolve issues of liability not formally, but by taking into account the individual circumstances of the person and the specific situational context.

The relevance of this study is determined by the fact that the institution of guilt remains one of the most debated and dynamically developing categories in modern criminal law. In the context of globalization, the strengthening of human rights protection standards, and contemporary trends toward the humanization of criminal law, the issue of legitimizing criminal liability has acquired particular importance. Accordingly, a thorough analysis of the modern understanding of guilt, its normative content, and its practical function is necessary.

The aim of this paper is to analyze the theoretical and doctrinal transformation of the concept of guilt in modern criminal law, to examine its essential elements, and to demonstrate the legal significance attributed to guilt in the process of individualizing responsibility and ensuring the principles of the rule of law. The study is based on both classical and contemporary criminal law doctrine and pays particular attention to the influence of German legal theory on the Georgian criminal law system.

The Concept of Guilt and Its Transformation

The institution of guilt represents one of the fundamental categories of modern criminal law, as it determines the legal basis for imposing criminal liability on an individual by the state. Contemporary criminal law does not suffice with merely establishing the existence of an unlawful act; it is also necessary to assess whether such conduct can be individually attributed to a specific person. This function is fulfilled by the concept of guilt, which serves as a central criterion for the legitimization of criminal responsibility.

Historically, the concept of guilt was initially interpreted predominantly in psychological terms. According to classical criminal law theories, guilt was understood as the individual's internal psychological relationship to the act and its consequences. In this approach, primary emphasis was placed on intent and negligence, namely on what the person knew, what they intended, and how they perceived the consequences of their conduct. Accordingly, the determination of guilt was largely based on psychological analysis.

The psychological theory of guilt played an important role in the development of criminal law, as it introduced the element of individual responsibility into the sphere of liability. However, over time it became evident that the mere identification of a psychological relationship was insufficient to ensure a fair determination of responsibility. There were cases in which a person formally acted with intent or negligence, yet the imposition of liability still appeared unjust in light of the specific circumstances.

These limitations led to the development of the normative theory of guilt, which fundamentally transformed its doctrinal understanding. According to the modern normative approach, guilt is no longer merely a psychological state; rather, it is a legal evaluation on the basis of which the state determines whether the act can be attributed to a person. Thus, the essence of guilt shifts not only from the individual's internal disposition but also to their capacity to act in accordance with legal requirements.

According to the normative theory of guilt, liability is justified only when the individual had a real possibility to refrain from committing the unlawful act. The principle of the "possibility of acting otherwise" has therefore become one of the fundamental pillars of modern criminal law. This approach is closely linked to the idea of the rule of law, according to which the state is obliged to exercise its punitive power only under conditions of individualized responsibility.

The normative transformation of guilt has acquired particular importance in the process of humanizing criminal law. Modern legal systems no longer recognize a model of automatic liability in which the mere establishment of an act and its consequence is sufficient. Instead, it has become necessary to assess the individual's personal circumstances, freedom of choice, and the specific situational context. In this way, guilt has evolved not only into a technical-dogmatic element but also into an important mechanism for the protection of human rights.

In contemporary doctrine, guilt generally comprises three main elements: culpability (criminal capacity), the potential awareness of unlawfulness, and the possibility of acting differently. These components form the normative framework within which the issue of liability is determined.

Culpability is a necessary precondition for the existence of guilt. A person who, due to a mental condition, is unable to understand the significance of their actions or to control their behavior cannot be considered a fully responsible subject of criminal liability. However, modern criminal law no longer treats culpability purely as a medical category. Its assessment is of a legal nature and is based on the question of whether the individual was capable of understanding and controlling their conduct in a specific situation.

The potential awareness of unlawfulness is also an important element. Contemporary doctrine emphasizes not only whether the individual actually knew that their conduct was prohibited, but also whether they had the capacity to recognize its unlawfulness. This is where

the normative nature of guilt becomes evident, as the assessment is based not solely on subjective knowledge but also on a legal expectation of awareness.

The central core of guilt is the possibility of acting differently. Liability is only legitimate when the individual had a real choice to act in accordance with the law. This criterion is particularly significant in cases of coercion, strong psychological pressure, or extreme circumstances in which the individual's freedom is substantially restricted.

This approach is directly connected to the problem of free will, which remains one of the most debated issues in criminal law theory. Modern scholarship increasingly suggests that human behavior is determined by a wide range of social, psychological, and biological factors. Consequently, the idea of absolute free will has become the subject of serious criticism.

Nevertheless, modern normative criminal law is no longer based on a metaphysical understanding of free will. For the law, it is sufficient that the individual had a legally meaningful opportunity to choose differently in the given circumstances. In this way, guilt retains its practical significance while being freed from abstract philosophical interpretations.

A significant influence on the development of the normative theory of guilt was exerted by German criminal law doctrine. According to the German legal tradition, guilt constitutes the basis of reproach—namely, a legal judgment by the state that the individual could have acted lawfully but failed to do so. This approach has become one of the fundamental theoretical foundations of modern European criminal law.

The influence of German legal doctrine is clearly observable in Georgian criminal law as well. Contemporary Georgian doctrine understands guilt not merely as a form of intent or negligence, but as a foundation for the individualization of criminal responsibility. In judicial practice, increasing attention is paid to the specific circumstances of the individual, psychological pressure, the influence of the social environment, and the existence of a real possibility of choice.

Nevertheless, the risk of formalistic approaches still persists in practice. In many cases, the assessment of guilt is limited to a purely formal determination of the subjective element, while insufficient consideration is given to the individual's actual capacities. This is particularly problematic in cases where conduct is influenced by social vulnerability, coercion, or severe psychological conditions.

For this reason, one of the key tasks of modern criminal law remains the development of standards for assessing guilt that ensure fairness, individualization, and predictability. The institution of guilt can no longer be interpreted as a purely formal-technical category; it represents a value-based foundation of the modern rule-of-law state.

Thus, the normative transformation of guilt reflects the general trend in the development of criminal law from a formal and mechanical model of responsibility toward an individualized and humanistic system. In its modern understanding, guilt represents not only a psychological attitude but also a legal evaluation that defines the legitimate scope of the state's punitive power and ensures the fair exercise of criminal responsibility.

In contemporary criminal law doctrine, the institution of guilt is regarded not merely as a formal element of liability but as one of the most important criteria for legitimizing the state's punitive authority. The normative theory of guilt has fundamentally transformed the traditional understanding of responsibility and has given central importance to the principle of individualization in criminal law. As a result of this shift, modern legal systems assess guilt as a legal reproach rather than merely a psychological state.

The normative concept of guilt is based on the idea that liability may only be imposed on a person who, in the specific circumstances, had a real possibility to act in accordance with legal requirements. Accordingly, the assessment of guilt is no longer limited to the determination of intent or negligence; it also requires an analysis of how free the individual was in making a choice and whether a lawful alternative was realistically available.

In modern doctrine, the structure of guilt typically includes three main elements: culpability (criminal capacity), the potential awareness of unlawfulness, and the possibility of acting differently. These elements form the basis for the individualization of responsibility and determine the extent to which the imposition of punishment by the state is legitimate.

Culpability constitutes a necessary precondition for guilt. A person who, due to a mental condition, is unable to understand the significance of their actions or to control their behavior cannot be considered a fully responsible subject of criminal liability. However, modern criminal law no longer treats culpability as a purely medical fact. Its assessment is normative in nature and is based not only on diagnosis but also on whether the individual was capable of understanding the legal significance of their conduct.

Equally important is the potential awareness of unlawfulness. According to the modern approach, it is not always necessary for the individual to have actually known that their conduct was prohibited; it is sufficient that they had the capacity to recognize its unlawfulness. This approach highlights the normative nature of guilt, as liability is based not only on subjective knowledge but also on a legal expectation.

The central element of guilt in modern theory is the possibility of acting differently. The idea of responsibility retains its legal and moral legitimacy only when the individual could realistically have refrained from engaging in unlawful conduct. For this reason, particular importance is attached to circumstances such as coercion, strong psychological pressure, social dependency, or extreme situations.

This issue is directly connected to the problem of free will, which remains one of the most debated topics in contemporary criminal law theory. Classical doctrine was based on the assumption that human beings are free and rational agents capable of making choices at all times. However, modern psychological and neuroscientific research has demonstrated that human behavior is often shaped by social, biological, and psychological factors.

Nevertheless, modern normative criminal law does not reject the concept of responsibility. It understands free will not in a metaphysical sense but from a legal perspective. For the law, it is sufficient that the individual had a practical opportunity to act differently. In this way, criminal law maintains the system of responsibility while also taking into account the complex nature of human behavior.

A significant influence on the development of the normative theory of guilt was exerted by German criminal law doctrine, according to which guilt constitutes the basis of reproach. Under this approach, punishment is legitimate only when the state reasonably concludes that the individual could have complied with the legal norm but failed to do so. This theory has contributed significantly to the strengthening of individualized responsibility in modern European criminal law.

Georgian criminal law doctrine and judicial practice also substantially embrace this approach. In contemporary practice, increasing attention is paid to the individual circumstances of the offender, the psychological and social context, as well as the factors influencing the freedom of choice. This is particularly important under modern human rights standards, where the automatic or mechanical imposition of criminal liability is impermissible.

At the same time, the persistence of formalistic approaches can still be observed in practice, where the assessment of guilt is reduced merely to the formal determination of the subjective element. In such cases, the individual's actual capacities and the social or psychological factors that may have significantly influenced the conduct are insufficiently taken into account. Therefore, one of the key challenges of modern criminal law remains the full practical implementation of the normative theory of guilt.

Accordingly, the normative transformation of guilt represents one of the most significant doctrinal achievements of modern criminal law. It has made possible the humanization and individualization of criminal responsibility and its closer alignment with the principles of the rule of law. In its modern understanding, guilt is no longer merely a person's psychological attitude toward the act; it constitutes a legal evaluation that defines the fair and legitimate limits of the state's punitive power.

Conclusion

The analysis of the normative transformation of the concept of guilt demonstrates that modern criminal law has significantly departed from the classical psychologistic paradigm and has evolved into a doctrinal model based on a value-oriented and evaluative system. The findings of the study confirm that guilt can no longer be interpreted solely as the individual's internal psychological attitude toward the act; rather, it constitutes a legal evaluation through which the state determines the legitimacy of criminal liability in each individual case.

One of the key findings of the research is that the normative theory of guilt shifts the focus of responsibility from a "psychological connection" model to a "normative attribution" model. As a result, the basis of liability is no longer limited to what the individual knew or intended, but also includes whether the person had a real possibility to act in accordance with legal requirements. The principle of the "possibility of acting otherwise" thus emerges as the central criterion of guilt.

At the same time, the study has shown that the structural elements of guilt—culpability, the potential awareness of unlawfulness, and the possibility of avoiding the act—together form a systemic foundation for the individualization of criminal responsibility. This model ensures that criminal law does not develop into a purely mechanical sanctioning system and preserves the principles of justice and proportionality.

It is particularly important that the normative theory of guilt is directly linked to the concept of the rule of law. The state is obliged to impose punishment only when the conduct of the individual constitutes genuinely reproachable behavior. In this way, guilt becomes a limiting mechanism of state punitive power, protecting individuals from both formal and substantive arbitrariness.

The results of the study also demonstrate that modern criminal law seeks to integrate both objective and subjective factors in the assessment of guilt. This is especially significant in cases where conduct is influenced by social pressure, economic vulnerability, or psychological coercion. In such situations, the mere presence of a subjective element is insufficient to ensure a fair assessment, and contextual analysis becomes necessary.

According to the author's critical evaluation, despite the doctrinal advantages of the normative theory, its practical implementation is still associated with several difficulties. One of the main problems is the abstract nature of the "possibility of acting otherwise" criterion. In judicial practice, it is often difficult to determine objectively whether a legally acceptable alternative was realistically available to the individual. This issue is particularly evident in cases involving coercion, strong emotional distress, or social dependency.

It must also be critically noted that the normative approach, despite its humanistic objectives, may generate risks of evaluative subjectivism. When the assessment of guilt depends heavily on judicial interpretation of the "reasonable person" standard, the likelihood of inconsistent practice increases. Therefore, there is a need for the development of clearer doctrinal criteria that ensure uniformity and predictability in legal outcomes.

At the same time, one of the strengths of the normative theory lies in its compatibility with contemporary human rights standards. Individualization of responsibility, reduction of formalism, and contextual evaluation contribute to a more just criminal justice system. It is particularly significant that guilt is no longer perceived as a moral stigma but as a legal evaluation linked to a specific act rather than to the general character of the individual.

Within the scope of this research, it has been established that Georgian criminal law substantially follows the European, and particularly the German doctrinal tradition. However, at the practical level, there remains a need for more consistent and systematic

application of the normative approach in judicial practice. Otherwise, there is a risk that the institution of guilt may remain a formal category and fail to fulfill its real function—individualization of responsibility and limitation of state power.

Ultimately, the study confirms that the normative transformation of the concept of guilt represents one of the most significant theoretical achievements of criminal law. It ensures the humanization of criminal responsibility, strengthens the principles of the rule of law, and protects individual rights. At the same time, it requires continuous doctrinal refinement and standardization of practical application in order to avoid evaluative subjectivism and to ensure uniform legal practice.

Thus, the modern understanding of guilt represents a dynamic and value-laden category that continuously evolves alongside changes in law, society, and human rights standards. It is precisely within this dynamic that its importance as one of the central and indispensable institutions of the criminal justice system becomes evident.

References

1. Gvenetadze, Nino. *Criminal Law Dogmatics and Practice*. Tbilisi: University Press, 2018.
2. Criminal Code of Georgia, 2000 (current version).
3. Turava, Merab. *Criminal Law – General Part*. Tbilisi: Meridiani, 2012.
4. Ashworth, Andrew. *Principles of Criminal Law*. Oxford: Oxford University Press, 2013.
5. Fletcher, George P. *Rethinking Criminal Law*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
6. Jakobs, Günther. *Strafrecht Allgemeiner Teil*. Berlin: De Gruyter, 1991.
7. Jescheck, Hans-Heinrich & Weigend, Thomas. *Lehrbuch des Strafrechts – Allgemeiner Teil*. Berlin: Duncker & Humblot, 1996.
8. Roxin, Claus. *Kriminalpolitik und Strafrechtssystem*. Berlin: De Gruyter, 1970.
9. Roxin, Claus. *Strafrecht Allgemeiner Teil*, Vol. I. Munich: C.H. Beck, 2006.
10. Smith, J.C. & Hogan, Brian. *Criminal Law*. Oxford: Oxford University Press, 2011.
11. Welzel, Hans. *Das Deutsche Strafrecht*. Berlin: de Gruyter, 1969.
12. European Court of Human Rights case-law. *Case-law on individualization of criminal responsibility and assessment of guilt* (ECHR Case-law Digest, Council of Europe).

MEDICAL SCIENCES

NON-INVASIVE IOS–CBCT REGISTRATION IN EDENTULOUS JAWS USING DENTURE-MOUNTED REFERENCE POINTS: A DIGITAL CASE REPORT

Emir Bayandurov [a]
Ramaz Orjonikidze [a]
Sophio Kraveishvili [a]
Nino Cheminava [b]
Ali Rachid [c]
Anna Ambarian [d]
[a] *Tbilisi State Medical University, 33, Vazha-Pshavela Ave. 0186, Tbilisi, Georgia*
[b] *BAU International University Batumi, Iris Borchashvili Health Center Medina, 237, Fridon Khalvashi ST, Batumi, 6010, Georgia*
[c] *European University, Guramishvili Ave. #76, Tbilisi, 0141, Georgia*
[d] *Grigol Robakidze University, Tbilisi, Irina Enukidze #3 (David Agmashenebeli Ave., 13) 0159, Georgia*
DOI: 10.5281/zenodo.21472003

Abstract

Introduction: Accurate spatial registration of intraoral optical scanning (IOS) surfaces with volumetric cone-beam computed tomography (CBCT) data is the cornerstone of digitally guided implant planning in edentulous patients. Conventional cross-modal matching workflows rely on dual-scan radiographic templates or invasive cortical miniscrews, which introduce significant financial costs, multiple appointments, and patient discomfort. This case report introduces a simplified, non-invasive digital workflow utilizing the patient's modified complete denture as a spatial reference carrier.

Case Presentation: A 76-year-old completely edentulous female patient sought a fixed, comfortable, and efficient rehabilitation of both arches. Six Meisinger Bone Level Tapered (BLT) implants were planned for each arch. Small, hemispherical composite landmarks (1.0-1.5 mm) were bonded to the patient's existing dentures. A single CBCT scan was acquired with the denture stabilized in centric relation, and a high-resolution IOS scan captured the edentulous mucosal contours and denture surfaces. A point-based initial registration followed by Iterative Closest Point (ICP) refinement on non-compressible areas yielded sub-millimeter landmark residuals (0.30-0.60 mm). Computer-guided surgery was executed, followed by immediate loading using the closed-mouth pickup Smart Denture Conversion (SDC) system. The final monolithic zirconia prostheses were fabricated using an Optisplint-verified scan and verified for passive fit via the Sheffield test.

Conclusion: The described denture-guided reference technique provides a highly accurate, clinically predictable, and entirely non-invasive approach for full-arch implant rehabilitation, optimizing patient comfort and prosthetic outcomes.

Keywords: Edentulous jaws, IOS-CBCT registration, Non-invasive, Implant rehabilitation, Case report

INTRODUCTION

The widespread adoption of fully digital workflows in implant dentistry has revolutionized the treatment of completely edentulous patients, enabling highly predictable, prosthetically driven treatment planning (2). The integration of volumetric cone-beam computed tomography (CBCT) with surface-based intraoral optical scanning (IOS) allows clinicians to simultaneously analyse the underlying osseous architecture, the overlying mucosal contours, and the planned prosthetic design within a single, unified coordinate system (8). While this registration process is highly predictable in dentate or partially edentulous patients due to the presence of rigid, high-contrast tooth crowns, it presents a formidable challenge in completely edentulous arches (1). The edentulous mucosa is highly compressible and prone to significant deformation under mechanical loading or during the scanning process, which introduces geometric discrepancies when matching IOS meshes with CBCT volumes (2). Furthermore, highly resorbed edentulous ridges lack distinct anatomical landmarks, rendering automated surface-matching software algorithms highly inaccurate (5).

Traditionally, clinicians have bypassed these limitations using the "dual-scan" protocol (3). This method requires a customized radiographic template or duplicate denture containing radiopaque fiducial markers (4). The template is scanned independently, followed by a second scan of the patient wearing the template with a radiolucent bite index. While clinically reliable, the dual-scan protocol is logistically intensive, increases radiation exposure, requires additional laboratory steps, and remains highly sensitive to minor positional instability of the template during scanning (3). Alternatively, invasive landmarks, such as titanium miniscrews temporarily placed in the alveolar bone, provide high-precision reference points but cause substantial patient distress, require local anaesthesia, and add surgical steps (6).

To resolve these clinical drawbacks, non-invasive, soft tissue-based matching workflows have been introduced (2). Deferm *et al.* (2) demonstrated that the palatal vault can serve as a relatively stable, non-compressible region for aligning edentulous IOS meshes to CBCT models. However, this markerless approach relies heavily on expert segmenting skills, high-contrast

CBCT imaging, and the presence of pronounced palatal rugae, showing limited reliability on flat, severely resorbed ridges or in the mandibular arch where stable landmarks are absent.

This digital case report describes a non-invasive, denture-guided registration workflow for a completely edentulous patient. By mounting small, hemispherical composite markers onto the patient's stable complete dentures, a highly accurate sub-millimeter registration of CBCT and IOS data was achieved. This enabled fully guided, prosthetically driven implant placement and immediate provisionalization on both the maxillary and mandibular arches.

CLINICAL REPORT

Case History and Clinical Presentation

A healthy 76-year-old female patient (ASA II, with medically managed hypertension) presented to the clinic with a chief complaint of poor retention of her removable complete dentures, compromised masticatory function, and a strong desire to transition to fixed restorations. The patient was highly motivated to undergo a fixed rehabilitation but expressed severe anxiety regarding invasive pre-surgical procedures (e.g., miniscrew placement) and requested a fast, comfortable, and minimally disruptive treatment pathway. Two months prior to her presentation, the patient had undergone complete tooth extractions due to terminal periodontal disease, and temporary immediate complete dentures had been delivered.

Figure 1. Pre-extraction panoramic radiograph.

Figure 2. Patient's pre-extraction clinical condition.

Figure 3. Edentulous condition two months after extraction.

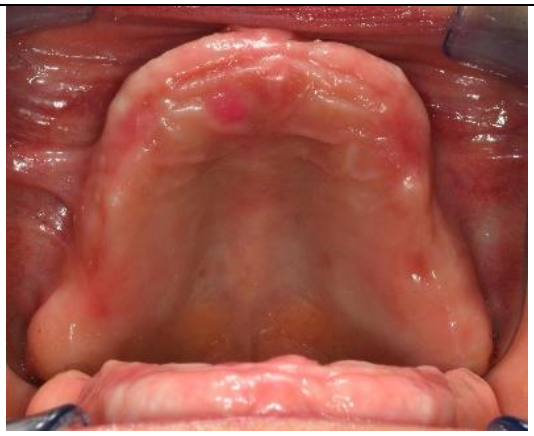


Figure 4. Maxillary edentulous condition two months after extraction.

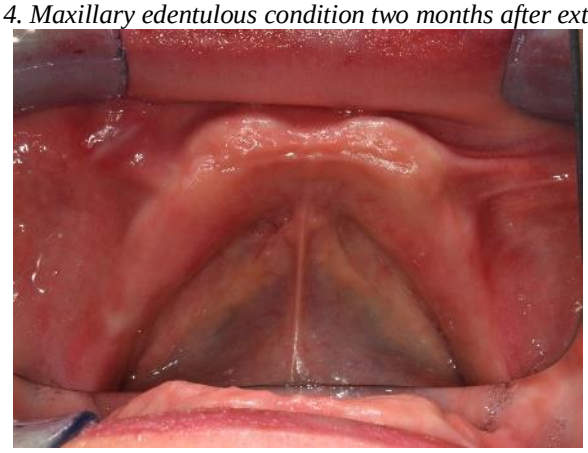


Figure 5. Mandibular edentulous condition two months after extraction.

Clinical examination revealed completely healed edentulous alveolar ridges on both arches with healthy, pink, non-keratinized mucosal coverage and no signs of inflammation. The patient's temporary dentures exhibited acceptable esthetics, stable occlusal vertical dimension (OVD), and verified centric relation (CR). A comprehensive treatment plan was formulated, comprising the placement of six dental implants in the mandible and six dental implants in the maxilla using computer-guided surgical templates, followed by immediate loading with screw-retained provisional restorations and the subsequent delivery of definitive monolithic zirconia prostheses.

Treatment Concept and Clinical Timeline

The clinical workflow was planned sequentially to maintain stability and control. The mandibular reconstruction was initiated first at baseline (T0), utilizing the stable maxillary denture as an occlusal reference. This was followed by the maxillary surgical reconstruction one month later (T0 + 1 month), allowing the converted mandibular provisional prosthesis to serve as the stable vertical and horizontal stop. Definitive restorations were designed and delivered for both arches at four months post-initial surgery (T0 + 4 months) following soft-tissue maturation.

Table 1.

Treatment Concept and Clinical Timeline. Abbreviations: OVD - Occlusal Vertical Dimension; CR - Centric Relation; CBCT - Cone-Beam Computed Tomography; IOS - Intraoral Optical Scanning; SDC - Smart Denture Conversion.

Interval	**Clinical Phase / Intervention**	**Objective / Outcome**
-2 months	Tooth extraction and immediate complete denture delivery	Tissue healing and initial adaptation to OVD/CR
Baseline (T0)	Denture marker modification, CBCT, IOS, guided mandibular implant placement, SDC conversion	Primary stability, immediate mandibular provisionalization
T0 + 1 month	Guided maxillary implant placement, SDC conversion	Immediate maxillary provisionalization, functional occlusion
T0 + 4 months	Optisplint-guided scan, exocad design, monolithic zirconia prosthesis delivery	Passive fit verification, definitive aesthetic and functional restoration

Figure 6. Mandibular implant placement.

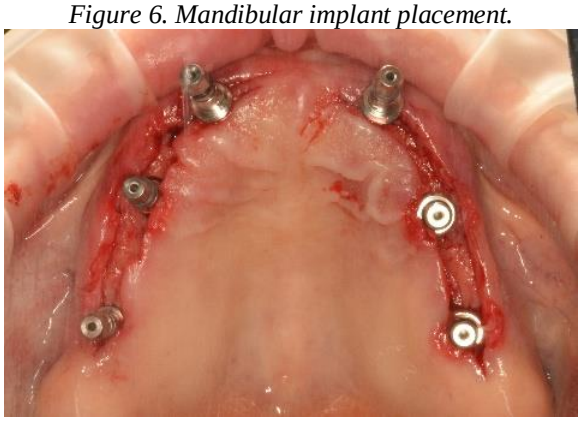


Figure 7. Maxillary implant placement.

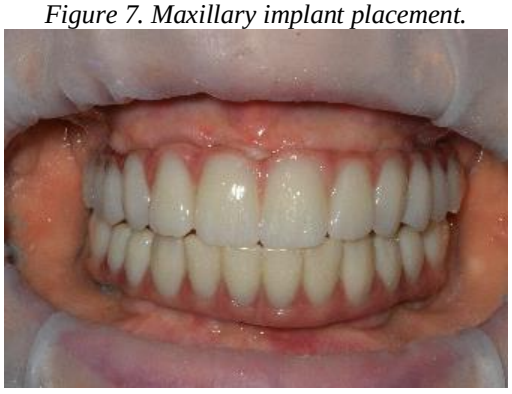


Figure 8. Final prosthetic rehabilitation.

Denture Modification and Landmark Preparation

To act as an accurate spatial reference carrier, the patient's existing, well-fitting complete dentures were

modified. Five small hemispherical reference markers (1.0-1.5 mm in diameter) were bonded to the non-compressible buccal and labial surfaces of each denture (7). The landmarks were positioned away from any compressible soft tissues and dental contours that could cause occlusal interference. One marker was placed at the midline, and two were placed bilaterally in the premolar and molar regions. The acrylic surface of the denture was slightly roughened with a round diamond bur, treated with an acrylic bonding agent, and built up with a radiopaque, high-viscosity flowable composite material. Light polymerization was performed to ensure a rigid, highly defined hemispherical shape, which is essential for accurate mathematical centroid calculation in digital registration software.

Figure 9. Scanned complete denture with reference markers.

Diagnostic Scanning and Intraoral Acquisition

A single CBCT scan was acquired (FOV 13x15 cm, voxel size 0.3 mm, 120 kVp, 5 mA, 20 s exposure) with the patient wearing the modified denture. The denture was fully seated and stabilized in centric relation using a low-viscosity polyvinyl siloxane (PVS) bite registration index (3). This step prevented any micromovements of the denture relative to the underlying bone during the tomographic exposure. Immediately after the radiographic acquisition, high-resolution intraoral scanning was performed using an intraoral scanner (3Shape TRIOS 3, software version 23.1). A continuous, looped scan path was utilized to prevent cumulative image stitching errors (5). The scanning path initiated at the right posterior ridge crest, proceeded anteriorly along the arch to the left posterior region, captured the vestibules, and moved to the palatal vault (for the maxilla). The scanner was then directed to capture the buccal and labial surfaces of the seated denture, ensuring a 360-degree, multi-angle acquisition of each hemispherical composite marker.

Registration Protocol and Accuracy Verification

The DICOM and STL files were imported into RealGuide implant planning software. Point-based initial registration was executed by manually identifying the coordinate centers (centroids) of the five reference markers on both the CBCT 3D reconstruction and the IOS surface mesh. The software automatically calculated the rigid transformation to align the datasets. To refine the matching and minimize soft-tissue compression bias, an Iterative Closest Point (ICP) surface-based alignment was performed (2). The region of interest (ROI) for the ICP algorithm was restricted to non-compressible structures (the hard palate and the stable zones of the alveolar crest), while all movable vestibular and cheek tissues were excluded from the mathematical calculation.

The registration accuracy was quantified by the software using a root-mean-square (RMS) algorithm to evaluate surface discrepancies:

$$\mathrm{RMS} = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{j-1}^{M} \|\mathbf{R}\mathbf{p}_j + \mathbf{t} - \mathbf{q}_j\|^2}$$

where $\mathbf{p}_j$ represents the coordinates of the IOS mesh surface points, $\mathbf{q}_j$ represents the corresponding target points on the CBCT segmented volume, $\mathbf{R}$ is the rotation matrix, $\mathbf{t}$ is the translation vector, and M is the total number of matched point pairs.

Surgical Execution and Immediate Loading

The aligned dataset showed an accurate spatial representation of the underlying bone, soft tissue, and planned tooth positions. Six Meisinger Oktagon Bone Level Tapered (BLT) implants (SLA surface, Grade 4 titanium; Meisinger Implants GmbH) were planned for each arch to support the fixed prostheses. At baseline

(T0), under local anesthesia, a pin-retained static surgical guide was positioned on the mandibular ridge. Sequential osteotomy was performed under continuous saline irrigation. Six Meisinger BLT implants (diameter 4.1 mm, length 10.0 mm) were placed at sites 46, 44, 42, 32, 34, and 36. High primary stability was achieved, with all insertion torques exceeding 30 Ncm. Straight and angled multiunit abutments (MUAs; Meisinger Implants GmbH) were secured to the implants at 35 Ncm. Immediate loading was performed using the Smart Denture Conversion (SDC) closed-mouth pickup system (Keystone Dental Inc). Titanium temporary cylinders were secured to the MUAs using split prosthetic screws, which protect the internal threads and minimize access hole sizes. The modified denture, with its labial and buccal flangeless cutouts prepared, was seated over the cylinders. The patient closed in centric relation, and the cylinders were pick-up bonded to the denture base using a dual-cure composite resin. After polymerization, the prosthesis was unscrewed, the labial flanges were removed, and the margins were finished and polished in the laboratory before being screwed back into the mouth with a torque of 15 Ncm.

One month later (T0 + 1 month), an identical surgical and prosthetic sequence was performed on the maxillary arch. Six Meisinger BLT implants (diameter 4.1 mm, length 10.0 mm) were placed at positions 16, 14, 12, 22, 24, and 26, achieving primary stability (> 30 Ncm) and receiving an immediately loaded converted provisional prosthesis.

Data Collection and Definitive Prosthesis Fabrication

At four months post-initial surgery (T0 + 4 months), following complete soft-tissue healing and maturation around the abutments, the definitive prosthetic phase was initiated. The provisional prostheses were removed, confirming clinical stability of all 12 implants. The Optisplint implant scanbody system (Digital Arches) was utilized to capture precise spatial coordinates of the MUAs (3). Optisplint scanbodies were secured to the MUAs, and the matching titanium frame was tried in. To guarantee absolute cross-arch precision and prevent intraoral scanning stitching errors, the scanbodies were physically luted to the titanium frame using an ultra-low-shrinkage flowable composite (Filtek Supreme Flowable, 3M). The rigid splinted assembly was removed and positioned onto the Scan plate calibration grid to perform a highly accurate extraoral scan with the intraoral scanner, capturing the exact spatial relationships without optical distortion. Additionally, the soft-tissue contours were scanned using soft-tissue scancaps, and the maxillomandibular relationship was recorded. A physical verification stone cast (Silky-Rock; Whip Mix) was poured using MUA analogs secured to the Optisplint assembly to serve as a lab master. The definitive prostheses were designed in exocad Dental CAD software. The final restorations were milled from monolithic multi-layered zirconia (PixelStone; Digital Arches) on titanium bases.

Passive Fit Evaluation

Before final delivery, the passive fit of the monolithic zirconia frameworks was evaluated using the Sheffield test (one-screw test). The prosthesis was seated on the MUAs, and a single clinical prosthetic screw was hand-tightened into the most distal implant on the right side. Under 8x magnification dental loupes, the interface of the remaining 5 non-screwed implant-abutment connections was inspected. No vertical gaps, shadows, or horizontal displacement of the framework were observed. The test was repeated by unscrewing the right distal screw and tightening only the left distal screw, demonstrating identical passive seating. Complete passive fit was confirmed on both arches, and the prostheses were definitively secured with a torque of 15 Ncm.

FOLLOW-UP AND OUTCOMES

Quantitative analysis of the digital registration demonstrated a highly accurate matching of the data. The RMS residual error of the reference markers between the CBCT and IOS datasets ranged from 0.30 to 0.60 mm. The maximum deviation reached 1.0 mm, which was localized strictly in the highly compressible vestibular mucosa region of the posterior arches, while the load-bearing implant planning sites remained entirely unaffected. At the 6-month post-loading follow-up, clinical examination confirmed 100% implant and prosthesis survival. The peri-implant soft tissues were healthy and pink with no signs of mucositis, bleeding on probing, or marginal bone loss on radiographic evaluation. The patient reported excellent comfort, restored masticatory efficiency, and complete satisfaction with the aesthetic outcome, noting the significant psychological comfort of a completely non-invasive pre-surgical diagnostic experience.

DISCUSSION

This clinical report highlights the clinical viability and advantages of utilizing a patient's modified complete denture as a spatial reference carrier for non-invasive IOS-CBCT registration. This method aligns with the philosophy of prosthetically driven implantology, ensuring that implant placement is governed by the approved final smile design rather than being limited by anatomical constraints. The denture-guided approach occupies an important place in the spectrum of digital registration methods. Compared to the conventional dual-scan protocol, it eliminates the need for separate laboratory scanning of a duplicate radiographic template and a second CBCT exposure, saving clinical time and reducing radiation (3). Furthermore, it addresses the key limitation of markerless soft tissue-based registration (2). While markerless registration can achieve high precision in the upper jaw via palatal vault matching (showing inter-observer deviations of 0.10 mm), it exhibits poor accuracy in the lower jaw where mobile mucosa, salivary flow, and severe bone resorption compromise the algorithm’s surface-matching capabilities.

The broad triangulation of high-contrast, hemispherical composite markers mounted on a stable denture base provides a stable geometric reference that eliminates rotational and translational errors across both arches (7). Additionally, this technique offers a completely non-invasive alternative to bone-anchored miniscrews. While miniscrews provide rigid landmarks for dynamic navigation or static guides, they require lo-

cal anesthesia, pose a risk of damage to underlying anatomical structures, and can trigger patient anxiety (6). Our clinical findings demonstrate that using stable, well-fitting dentures modified with reference markers provides sub-millimeter precision (0.30-0.60 mm RMS), which is well within the clinically acceptable range for safe, guided implant placement in close proximity to vital structures.

For clinical success, specific parameters must be strictly controlled. First, denture stability is critical; any rocking or movement will corrupt the registration. If the existing denture has poor fit, a clinical reline with PVS or hard acrylic must be performed prior to CBCT scanning. Second, the hemispherical geometry of the composite markers is essential, as spherical shapes allow software to mathematically calculate precise center points (centroids) across different imaging modalities (7). Third, during the CBCT scan, the patient must bite firmly into a rigid, low-viscosity registration material to ensure the denture remains fully seated against the basal bone (3). Fourth, verification of passive fit using a standardized Sheffield test remains mandatory to prevent long-term mechanical stress on the implants and prosthetic screws.

A minor limitation of this technique is its reliance on the presence of a well-fitting, aesthetically approved denture. If the patient has no existing dentures or has severely compromised prostheses, new trial dentures or wax rims must be fabricated first, which may add clinical steps. In the future, the integration of artificial intelligence (AI) algorithms for automatic centroid identification and bone segmentation will further streamline this workflow, reducing planning time and eliminating human error in registration.

CONCLUSION

The use of a modified complete denture as a non-invasive reference carrier for IOS-CBCT registration is a highly accurate, efficient, and comfortable method for full-arch implant planning and immediate loading. By achieving sub-millimeter matching precision (0.30-0.60 mm) without the need for invasive bone pins or complex dual-scan protocols, this technique offers a predictable, prosthetically driven pathway for comprehensive complete-arch rehabilitation.

References

1. Choi, E. J., Woo, Y. J., Park, J. M., & Lim, Y. J. (2024). Effect of scan path on accuracy of complete-arch intraoral scan: An *in vitro* study. The Journal of Advanced Prosthodontics, 16(6), 319–328. https://doi.org/10.4047/jap.2024.16.6.319

2. Deferm, J. T., Schreurs, R., Baan, F., Bruggink, R., Merkx, M. A. W., de Jong, G., Becking, A. G., & Maal, T. J. J. (2022). Soft tissue-based registration of intraoral scan with cone beam computed tomography scan. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 51(3), 395–403. https://doi.org/10.1016/j.ijom.2021.04.009

3. Glidewell Dental. (2025). Dual-Scan Protocol (GL-2678015). https://glidewelldental.com

4. Helm Dental Laboratory. (2023). CBCT Dual Scan Protocol—Edentulous (Rev 8/2023). https://helmdentallaboratory.com

5. Jamjoom, F. Z., Aldghim, A., & Zafar, M. S. (2024). Impact of intraoral scanner, scanning strategy, and scanned arch on the scan accuracy of edentulous arches: An *in vitro* study. The Journal of Prosthetic Dentistry, 131(8), 1218–1225. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.07.016

6. Ruiz-Romero, V., Ávila-Ortiz, G., Delgado, A., Ortega-Aranegui, R., Ríos-Sánchez, E., & Prados-Privado, M. (2024). Accuracy of dynamic computer-assisted implant surgery in edentulous jaws: Miniscrew tracing versus bone tracing. Journal of Dentistry, 145, 105003. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105003

7. Waldecker, M., Güth, J.-F., Erdelt, K., & Keul, C. (2024). Influence of artificial landmarks on the accuracy of complete-arch scans in the partially edentulous maxilla: An *in vitro* study. The Journal of Prosthetic Dentistry, 132(6), 938–945. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.10.016

8. Wang, J., Zhang, L., Xu, Z., Long, J., Wang, M., & Liu, B. (2023). The accuracy of dynamic computer-assisted implant surgery for fully edentulous jaws (Technical Report). Beijing University. https://ss.bjmu.edu.cn/Sites/Uploaded/File/2024/03/146384600462040475355482032.pdf

PEDAGOGICAL SCIENCES

APPLICATION POSSIBILITIES OF AUGMENTED AND VIRTUAL LABORATORIES IN BIOLOGY EDUCATION

Gultakin Arabova
Ph.D. in Biology
Azerbaijan State Pedagogical University
Asmar Ahmadli
Azerbaijan State Pedagogical University
DOI: 10.5281/zenodo.21472091

Abstract

The article investigates the possibilities of applying Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies in the teaching of biology. The integration of modern digital technologies into the educational system creates opportunities for more effective teaching of subjects such as biology, which require complex and visual understanding. The study analyzes the essence, main features, and distinctive characteristics of AR and VR technologies. The article provides information about various AR and VR applications used in teaching different fields of biology, including cell biology, genetics, human anatomy, ecology, and biodiversity. The role of programs such as Cell Explorer, InCell VR, Anatomy 4D, Visible Body, Nature Treks VR, EcoMUVE, and EcoVR in creating an interactive learning environment for pupils and students is highlighted. It is emphasized that virtual laboratories provide safe, practical, and accessible experimental opportunities in biology lessons.

The results of the research indicate that AR and VR technologies have significant advantages in biology education in terms of increasing motivation, visualizing complex biological processes, developing practical skills, and ensuring longer-term retention of knowledge. At the same time, the study notes the importance of improving technical infrastructure and enhancing teachers' digital competencies for the widespread implementation of these technologies.

Keywords: Biology teaching, augmented reality, virtual reality, virtual laboratory, digital education, interactive learning, biology technologies.

In the modern era, the rapid advancement and transformation of technology have led to innovations in education, as in many other areas of life. The application of these innovations is creating new perspectives in the field of education. The integration of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies with computers and mobile applications is opening new windows for the development of education [4].

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies are among the most dynamically developing technologies of the modern era. They are creating revolutionary changes in various fields. Augmented reality enriches the real-world environment with digital elements. This technology analyzes the surrounding environment in real time and adds virtual objects, information, or effects to it. The main features of augmented reality include enabling interaction with the real world through mobile phones, tablets, and specialized AR glasses, as well as making the integration of digital and real objects possible. The main characteristics of VR technologies are operating within a fully artificial environment, providing immersive experiences through motion sensors and specialized VR headsets, and ensuring interactivity through motion-tracking technologies [3]. AR and VR technologies offer application opportunities in many areas, including engineering for design and prototype development, medicine for surgical simulators and psychological therapy, tourism through virtual tours, and education through the visualization of historical events, processes, and experiments [6]. When examining the differences between AR and VR technologies, VR tools create an artificial and completely virtual world, whereas AR technologies integrate with the real world and provide opportunities for enhancing the real environment.

The use of AR and VR technologies in the teaching of biology stands out with its advantages in both teaching and learning processes, while also increasing students' motivation toward lessons by taking into account the interest of modern youth in technology. These technologies provide students with interactive learning experiences and encourage active participation in classes instead of passive learning activities [2]. Since the visual representations in these technologies closely correspond to reality, they make complex topics easier to understand. By creating realistic simulations, complex biological processes and microscopic structures can be clearly presented in virtual environments. Students are able to experience risky and expensive laboratory conditions through simulations, allowing them to work in a safer environment. These technologies also create an ideal alternative practical environment for schools with limited laboratory equipment. Students can learn cell structure, genetic experiments, photosynthesis, and other biological processes through simulations. Learners do not need to work directly with chemicals, sharp instruments, or living organisms. Thus, students can conduct their own independent research safely and accessibly, while also participating in interactive group activities [7].

Especially in biology, which contains the fundamental knowledge of all living organisms and life itself, teaching theoretical concepts through these programs enables students to achieve a level of understanding

comparable to learning in real environments. Since biological science encompasses numerous complex structures and processes, these technologies play an extremely effective role in the visualization, comprehension, and retention of topics. The use of VR technologies in biology classes is considered one of the revolutionary innovations in the field of education.

In the study of cell biology, the structure of the cell and its internal mechanisms can be presented in 3D form. In this way, students can better understand the functions of the cell wall, mitochondria, nucleus, and other organelles. Animated visualization of molecules and cellular processes, such as mitosis and meiosis, makes physiological processes easier to understand. For example, the AR-based application *Cell Explorer* presents microscopic cell structures in 3D models for both animal and plant cells. It creates an interactive learning experience for school pupils and university students by allowing them to rotate, zoom in, and interact with cell organelles. Another simulation program, *InCell VR*, enables students to travel inside the cell and among organelles. In the field of genetics and molecular biology, learning the structures of DNA and RNA in 3D becomes easier and more engaging through VR technologies.

In topics related to human and animal anatomy, AR and VR technologies bring 3D organ models into the classroom environment, enabling students to learn anatomy in a more realistic way. Teachers can enlarge, rotate, and separate different systems into parts for explanation. Through the *Human Anatomy AR* application, it is possible to display human anatomy using 3D models. The *Anatomy 4D* simulation is a classic AR application in which 3D models of body systems appear when the camera is directed at a marker (image). The *Visible Body* platform provides interactive models for 3D anatomy, organ systems, tissues, and related structures. The 3D anatomy models can be placed on a table or any flat surface. With this program, users can separate organs into parts, examine tissue models, and create interactive educational tasks for lessons.

In the study of ecology and biodiversity, virtual reality helps learners explore ecosystems and biomes more effectively. Students can virtually travel to tropical forests, deserts, or underwater environments and observe the living conditions of organisms. *Nature Treks VR* was developed for exploring natural environments. The modeling of ecosystems in VR environments particularly facilitates the study of remote and inaccessible areas. The *EcoMUVE* project, proposed by Harvard University, creates an interactive virtual ecosystem designed for schools [1]. Students can investigate ecological problems in virtual lake and forest ecosystems and observe processes such as population changes, pollution, oxygen levels, and food chains. *EcoVR* is a fully immersive VR ecosystem simulation program. It allows users to explore various biotopes such as rainforests, savannas, and tundra environments within virtual reality. The program vividly demonstrates the interactions between flora and fauna, and animal behavior patterns can also be observed within the VR environment.

In the modern education system, the application of AR and VR technologies establishes a qualitatively new stage in the teaching of biology. These technologies transform lessons from being merely collections of theoretical information into dynamic, interactive, and visually enriched learning environments for school pupils and university students. The opportunity to travel into the inner world of the cell, observe complex ecosystems firsthand, or explore human anatomy in 3D directly contributes to a deeper understanding and stronger retention of acquired knowledge. Thus, these innovative tools not only make the learning process more engaging, but also create equal educational opportunities by making advanced laboratory experiences accessible to every school. In the future, the broader integration of these technologies into educational programs will play a decisive role in raising a technologically literate, research-oriented, and creative younger generation.

References

1. Harvard University. EcoMUVE: Ecosystems in Multi-User Virtual Environments project describement, 2023.

2. Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29–40, 2014.

3. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778, 2020.

4. Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. Augmented Reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149, 2014.

5. Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549–559, 2017.

6. Freina, L., & Ott, M. A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. In *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 133–141, 2015.

7. Dunleavy, M., & Dede, C. Augmented reality teaching and learning. In J. M. Spector et al. (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. New York: Springer, 2014.

NEUROCOGNITIVE BASIS OF MEMORY CONSOLIDATION IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING

Bondarenko N.
Associate Professor
of the Department of European Languages
of the Diplomatic Academy of the MGIMO
Ministry of Foreign Affairs of Russia,
Ph. D in Pedagogy
DOI: 10.5281/zenodo.21472144

НЕЙРОКОГНИТИВНАЯ ОСНОВА КОНСОЛИДАЦИИ ПАМЯТИ В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

Бондаренко Н.И.
Доцент кафедры европейских языков
Дипломатической академии МГИМО МИД России,
кандидат педагогических наук

Abstract

This article examines neuroplasticity as a neurocognitive basis for foreign language learning. The topic is relevant given the growing number of studies examining the acquisition of a new language as a restructuring of networks of perception, memory, speech control, and long-term knowledge retention. The aim of this study is to uncover the pedagogical potential of neuroplasticity through the analysis of three mechanisms directly relevant to language learning: multisensory presentation of material, immersive language environments, and spaced repetition. The scientific novelty of this article lies in its integration of neuroimaging studies, systematic reviews of XR and AR environments, and studies on distributed learning and memory consolidation within a single analytical framework. This study draws on ten international publications published between 2021 and 2025. The study utilizes an analytical literature review, a comparison of results, a classification of the identified mechanisms, and a logical and substantive summary. It has been demonstrated that sustained foreign language acquisition is supported not by a single technique, but by a coordinated organization of the learning experience: a combination of auditory, visual, and kinesthetic channels, the learner's inclusion in a rich language environment, and the distribution of repetition over time. The practical value of this article lies in its clarification of the principles of lesson design aimed at promoting lasting memorization, verbal activation, and long-term retention of language material.

Аннотация

Статья посвящена нейропластичности как нейрокогнитивной основе обучения иностранным языкам. Актуальность темы связана с ростом числа исследований, где усвоение нового языка рассматривают как перестройку сетей восприятия, памяти, речевого контроля и долговременного закрепления знаний. Цель работы – раскрыть педагогический потенциал нейропластичности через анализ трех механизмов, имеющих прямое значение для языкового обучения: мультисенсорного предъявления материала, иммерсивной языковой среды и интервального повторения. Научная новизна статьи связана с объединением в одном аналитическом поле нейровизуализационных исследований, систематических обзоров по XR- и AR-средам, а также работ по распределенному обучению и консолидации памяти. Материал составили десять зарубежных публикаций 2021–2025 годов. В работе использованы аналитический обзор литературы, сопоставление результатов, классификация выявленных механизмов и логико-содержательное обобщение. Показано, что устойчивое усвоение иностранного языка поддерживается не отдельным приемом, а согласованной организацией учебного опыта: сочетанием аудиального, визуального и кинестетического каналов, включением обучающегося в насыщенную языковую среду и распределением повторения во времени. Практическая ценность статьи связана с уточнением принципов проектирования занятий, ориентированных на прочное запоминание, речевую активизацию и длительное удержание языкового материала.

Keywords: neuroplasticity, foreign language learning, multisensory learning, immersive environment, spaced repetition, long-term memory.

Ключевые слова: нейропластичность, обучение иностранным языкам, мультисенсорное обучение, иммерсивная среда, интервальное повторение, долговременная память.

Введение

Нейропластичность в современной лингводидактике описывает перестройку функциональных и структурных связей, возникающую под действием нового языкового опыта. При освоении иностранного языка перестройка затрагивает слухоречевую обработку, зрительное распознавание графики, сенсомоторное программирование артикуляции, механизмы выбора лексем, удержание материала в рабочей памяти и его последующее закрепление в долговременном хранилище. По этой причине

обсуждение нейропластичности в языковом образовании требует перехода от общих рассуждений о «развитии мозга» к рассмотрению конкретных учебных решений, способных направлять и усиливать подобные перестройки.

Наибольший интерес вызывают три линии. Первая связана с мультисенсорным обучением, при котором слово, образ, звук, движение и артикуляционное действие образуют единую сеть кодирования. Вторая касается иммерсивной среды, где языковая единица усваивается в ситуации применения, а не в изолированном перечне правил и переводов. Третья линия относится к регулярности и распределенному повторению, при котором материал возвращается через интервалы и постепенно переходит из кратковременного удержания в прочное долговременное знание.

Цель исследования – раскрыть возможности нейропластичности в обучении иностранным языкам через анализ современных работ о структурной и функциональной перестройке мозга, мультисенсорном предъявлении, иммерсивной языковой среде и интервальном повторении.

Для достижения цели решаются задачи:

1) определить, какие формы нейропластической перестройки описаны в исследованиях по второму языку;

2) установить, какие педагогические механизмы усиливают формирование новых нейронных путей при языковом обучении;

3) вывести из рассмотренного корпуса практические принципы построения занятий.

Научная новизна статьи состоит в том, что тема нейропластичности раскрыта не через общий обзор билингвизма, а через анализ конкретных методических решений, прямо связанных с обучением иностранному языку.

Материалы и методы

Материал составили публикации 2021–2025 годов. В систематическом обзоре E. Gkintoni, S. P. Vassilopoulos, G. Nikolaou [1] обобщены данные о нейропластичности и когнитивных эффектах мультисенсорного и языкового обучения у взрослых. C. Liu, L. Jiao, K. Timmer, R. Wang [2] прослеживают структурные изменения мозга при годичном обучении второму языку в формате longitudinal VBM-study. L. Marin-Marin, V. Costumero, C. Ávila, C. Pliatsikas [3] исследуют связь интенсивности билингвального погружения с динамикой серого вещества. C. A. Murray и L. Shams [4] рассматривают кроссмодальные взаимодействия в обучении и памяти как нейрофизиологическую базу мультисенсорного кодирования. I. Schorr, D. A. Plecher, C. Eichhorn, G. Klinker [5] анализируют применение augmented reality в обучении иностранным языкам и формулируют проектные принципы для языковых приложений. R. Teymouri [6] обобщает работы по мобильному усвоению лексики с опорой на digital flashcards и spaced repetition. L. Tu, F. Zhou, K. Omata и соавт. [7] показывают связь освоения китайского языка взрослыми с ростом объема серого вещества в ряде зон мозга. Y. Weng, M. Schmidt, W. Huang, Y. Hao [8] рассматривают эффективность иммерсивных технологий в обучении английскому как второму языку. Y. Yang, Z. Huang, Y. Yang, M. Fan, D. Yin [9] изучают нейронные механизмы долговременной памяти при spaced learning. Y. Zhi и L. Wu [10] предлагают когнитивно-аффективную модель immersive learning для XR-сред в языковом обучении.

В работе использованы аналитический обзор научных публикаций, сопоставительный анализ результатов, классификация педагогических механизмов нейропластичности, логико-содержательное обобщение и синтез. Такой набор процедур дал возможность связать данные нейровизуализации, обзоров по образовательным технологиям и исследований памяти с задачами лингводидактики.

Результаты

Публикации по второму языку убеждают в том, что нейропластичность при языковом обучении следует понимать как регистрируемую перестройку мозговых сетей, а не как метафорическое обозначение «активного обучения». В longitudinal-исследовании C. Liu, L. Jiao, K. Timmer, R. Wang зафиксированы изменения серого вещества после одного года интенсивного classroom L2 learning, причем динамика оказалась связана с языковым контролем и индивидуальными различиями в опыте изучения языка [2]. Работа L. Tu, F. Zhou, K. Omata и соавт. дополняет данную линию: длительное освоение китайского языка взрослыми носителями алфавитных языков коррелировало с увеличением объема серого вещества в зонах, связанных со зрительной обработкой письменности и фронтальным речевым контролем [7]. Систематический обзор E. Gkintoni, S. P. Vassilopoulos, G. Nikolaou подводит более широкий итог: второй язык и мультикультурное обучение связаны с перестройкой связности между языковыми, исполнительными и мнемическими сетями, а выраженность эффекта зависит от насыщенности учебной среды и способа подачи материала [1].

Первая группа педагогических механизмов относится к мультисенсорному предъявлению. Нейрофизиологическую основу подобного решения раскрывает обзор C. A. Murray и L. Shams, где кроссмодальные взаимодействия описаны как условие обучения, калибровки сенсорных систем и формирования более устойчивых следов памяти [4]. Для обучения иностранному языку подобный вывод особенно значим, поскольку слово редко существует в реальном усвоении только как звук или только как графема. Более прочное закрепление возникает при соединении слухового образа, зрительного сигнала, артикуляционного действия, жеста, пространственного перемещения, предметной опоры или цифровой интеракции. В систематическом обзоре E. Gkintoni, S. P. Vassilopoulos, G. Nikolaou подобная организация описана как визуально-аудиально-кинестетическая интеграция, усиливающая нейронные связи и консолидацию материала [1].

Данные по augmented reality и XR-средам дают более предметную педагогическую проекцию указанного механизма. В обзоре I. Schorr, D. A. Plecher, C. Eichhorn, G. Klinker показано, что AR чаще всего используется для усвоения лексики, причем продуктивность повышается при включении изображения, текста и аудио в одном учебном цикле [5]. Такая связка переводит слово из плоскости условного списка в наблюдаемую и слышимую ситуацию. В результате активизируется не один входной канал, а сеть взаимно поддерживающих сигналов. Y. Zhi и L. Wu, анализируя XR-подходы, связывают эффективность иммерсивной языковой среды с ощущением присутствия, когнитивной вовлеченностью и насыщенностью действий, в которых язык перестает быть отвлеченным объектом и начинает обслуживать взаимодействие в смоделированном пространстве [10]. Следовательно, мультисенсорность в обучении иностранному языку следует понимать не как декоративное добавление иллюстраций и звуковых файлов, а как способ совместного кодирования значения, формы и действия.

Вторая группа механизмов связана с погружением в языковую среду. Нейропластическая значимость иммерсивного опыта убедительно прослеживается в работе L. Marin-Marin, V. Costumero, C. Ávila, C. Pliatsikas, где интенсивность и разнообразие билингвального использования языка соотнесены с нелинейной динамикой объема серого вещества в корковых и подкорковых зонах [3]. Для лингводидактики отсюда следует принцип: устойчивые перестройки поддерживаются не разовым контактом с языком, а продолжительным включением обучающегося в насыщенный поток речевых действий, где необходимо понимать, выбирать, различать и производить высказывания в изменяющихся условиях.

Данная мысль находит продолжение в исследованиях образовательных технологий. Y. Weng, M. Schmidt, W. Huang, Y. Hao в систематическом обзоре тридцати трех работ по K–12 ESL показывают, что иммерсивные технологии поддерживают языковое развитие, учебную мотивацию и практику разных речевых навыков [8]. При этом наибольший эффект связан не с самой новизной устройства, а с созданием аутентичной языковой ситуации и включением обучающегося в речевое действие. Близкий вывод содержится в мини-обзоре Y. Zhi и L. Wu: XR-среда усиливает концентрацию, сотрудничество и вовлеченность, поскольку приближает учебную задачу к реалистичному опыту общения [10]. Погружение, следовательно, следует трактовать как способ повышения плотности языковых операций на единицу времени: обучающийся не извлекает слово из списка ради проверки, а использует его для ориентации, выбора, ответа, запроса и понимания.

В языковом обучении подобная организация особенно продуктивна для лексики и ситуативной речи. AR-среды, по данным I. Schorr, D. A. Plecher, C. Eichhorn, G. Klinker, лучше всего работают в задачах контекстуального усвоения, где значение слова поддерживается референтом, местом, действием или цифровым объектом [5]. Слово в таком случае закрепляется не через механический перевод, а через наблюдаемую ситуацию, что создает более богатую сеть связей между формой, значением и применением. При переходе к фразовой речи подобный принцип сохраняется: языковая единица усваивается быстрее и удерживается дольше, если встроена в развернутый сценарий.

Третья группа механизмов относится к регулярности и интервальному повторению. Для темы нейропластичности данный блок имеет особое значение, поскольку речь идет уже не просто о первом кодировании, а о закреплении и переводе материала в долговременную память. Мини-обзор R. Teymouri, посвященный digital flashcards и mobile-assisted vocabulary learning, показывает устойчивый интерес к системам, где лексика возвращается к обучающемуся через интервалы и сопровождается retrieval practice вне аудиторного времени [6]. Подобные системы перестраивают режим работы с материалом: единичный интенсивный контакт уступает место серии распределенных возвращений, каждое из которых обновляет след памяти и снижает вероятность быстрого забывания.

Нейрофизиологическое основание данной практики раскрыто в исследовании Y. Yang, Z. Huang, Y. Yang, M. Fan, D. Yin. Авторы сравнили massed learning и spaced learning и установили, что распределенное обучение связано с более высокой сохранностью материала на отсроченных проверках, а долговременное удержание опирается на процессы консолидации, интеграции и кортикального воспроизведения, выходящие за пределы краткого первичного запоминания [9]. Для обучения иностранному языку подобный вывод означает следующее: переход лексемы, грамматической модели или фразового шаблона в устойчивое знание требует не максимальной плотности повторений в один день, а грамотно разнесенных возвращений через интервалы. При таком режиме знание перестает существовать как свежий, но хрупкий след и превращается в более стабильный нейронный путь.

Интервальное повторение особенно продуктивно в трех зонах. Первая зона – лексика, где spaced repetition поддерживает узнавание, воспроизведение и различение близких единиц [6; 9]. Вторая – грамматические конструкции, усвоение которых требует многократного возвращения к модели в разных высказываниях. Третья – фонетика и произносительные навыки, где повторение через интервалы закрепляет слухоартикуляционные соответствия. При этом распределенность не исключает интенсивности; напротив, она перераспределяет усилие во времени и тем самым поддерживает консолидацию без перегрузки.

Сопоставление всех работ позволяет выделить интегральную модель нейропластического языкового обучения. Ее первый элемент – мультисенсорное кодирование, при котором слуховой, зрительный и кинестетический каналы образуют единую сеть запоминания [1; 4; 5]. Второй элемент – иммерсивная среда, где языковая единица закрепляется в ситуации действия, присутствия и речевого выбора [3; 5; 8; 10]. Третий элемент – интервальное повторение, обеспечивающее долговременную консолидацию и устойчивое удержание материала [6; 9]. Нейропластичность в таком понимании перестает быть отвлеченным термином и получает прямое методическое наполнение.

Обсуждение

Рассмотренный корпус показывает, что продуктивное обращение к нейропластичности в языковом образовании требует смещения акцента с общей нейрориторики на архитектуру учебного опыта. Структурные и функциональные исследования по второму языку указывают на подвижность мозговых сетей под действием языковой практики. При переносе в лингводидактику данное положение получает конкретное содержание: учебная среда, в которой слово одновременно слышится, видится, произносится, соотносится с объектом и возвращается через интервалы, создает более благоприятные условия для закрепления, чем линейное объяснение и одноразовое упражнение.

Материалы по мультисенсорному обучению убеждают в том, что аудиальный, визуальный и кинестетический каналы следует рассматривать в связке. При раздельной подаче сигналов обучающийся получает фрагменты информации. При их согласованном соединении формируется многоточечный маршрут доступа к единице языка: через звук, графический образ, движение, предметную опору, ситуацию употребления. Подобная организация снижает зависимость от одного способа предъявления и делает воспроизведение более устойчивым.

Исследования иммерсивной среды подводят к еще одному выводу. Погружение усиливает усвоение не само по себе и не из-за технологической новизны. Эффект возникает тогда, когда среда вынуждает обучающегося действовать языком: различать, выбирать, реагировать, ориентироваться, вступать в диалог, исправлять ошибку в ходе деятельности. Отсюда вытекает методическое ограничение: замена обычного задания на VR- или AR-оболочку без речевой необходимости не дает полноценного нейропластического выигрыша. Среда приносит результат при условии, что она насыщает обучение реальными языковыми операциями.

Материалы по интервальному повторению уточняют временную организацию усвоения. Для долговременного удержания недостаточно интенсивного разового контакта с материалом. Прочное знание вырабатывается при циклическом возвращении к единице, причем каждое новое предъявление должно происходить после частичного ослабления следа памяти. Тогда повторение перестает служить простым напоминанием и начинает работать как акт восстановления и укрепления. В языковом обучении подобный принцип особенно ценен для словаря, коллокаций, шаблонов фразовой речи и произносительных моделей.

Наряду с продуктивными выводами корпус выявляет и границы интерпретации. Существенная часть исследований посвящена vocabulary learning, школьным выборкам или цифровым средам. По этой причине прямой перенос результатов на все уровни языковой подготовки требует осторожности. Еще одно ограничение связано с неоднородностью измерителей: в одних работах оценивали нейровизуализационные изменения, в других – учебную мотивацию, в-третьих, – прирост конкретного навыка. По этой причине целесообразно говорить не о едином универсальном эффекте нейропластичности, а о совокупности согласованных условий, усиливающих разные стороны усвоения.

Заключение

Проведенный анализ позволил установить, что нейропластичность в обучении иностранным языкам получает педагогическое содержание через три взаимосвязанных механизма. Первый механизм связан с мультисенсорным кодированием, при котором слуховой, зрительный и кинестетический каналы образуют более плотную сеть связей между словом, значением и действием. Второй механизм представлен иммерсивной языковой средой, где речевая единица закрепляется в ситуации использования и потому усваивается глубже, чем при изолированном предъявлении. Третий механизм образует интервальное повторение, поддерживающее консолидацию памяти и длительное удержание материала.

По первой задаче установлено, что исследования по второму языку фиксируют реальную структурную и функциональную перестройку мозговых сетей при систематическом языковом опыте. По второй задаче выявлены учебные решения, усиливающие подобную перестройку: согласованная работа нескольких каналов восприятия, включение обучающегося в насыщенную языковую среду и распределение повторения во времени. По третьей задаче выведены методические следствия: продуктивная модель занятия предполагает сочетание мультимодального предъявления, речевого действия в иммерсивной среде и повторного обращения к материалу через интервалы.

Перспективная линия дальнейшей разработки связана с созданием курсов иностранного языка, где нейропластичность рассматривается не как внешнее оправдание модных технологий, а как основание для проектирования последовательности, плотности и формы учебных действий.

Список использованной литературы

1. Gkintoni E., Vassilopoulos S. P., Nikolaou G. Brain-Inspired Multisensory Learning: A Systematic Review of Neuroplasticity and Cognitive Outcomes in Adult Multicultural and Second Language Acquisition // Biomimetics. 2025. Vol. 10, No. 6. Art. 397. DOI: 10.3390/biomimetics10060397.

2. Liu C., Jiao L., Timmer K., Wang R. Structural brain changes with second language learning: A longitudinal voxel-based morphometry study // Brain and Language. 2021. Vol. 222. Art. 105015. DOI: 10.1016/j.bandl.2021.105015.

3. Marin-Marin L., Costumero V., Ávila C., Pliatsikas C. Dynamic Effects of Immersive Bilingualism on Cortical and Subcortical Grey Matter Volumes // Frontiers in Psychology. 2022. Vol. 13. Art. 886222. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.886222.

4. Murray C. A., Shams L. Crossmodal interactions in human learning and memory // Frontiers in Human Neuroscience. 2023. Vol. 17. Art. 1181760. DOI: 10.3389/fnhum.2023.1181760.

5. Schorr I., Plecher D. A., Eichhorn C., Klinker G. Foreign language learning using augmented reality environments: a systematic review // Frontiers in Virtual Reality. 2024. Vol. 5. Art. 1288824. DOI: 10.3389/frvir.2024.1288824.

6. Teymouri R. Recent developments in mobile-assisted vocabulary learning: a mini review of published studies focusing on digital flashcards // Frontiers in Education. 2024. Vol. 9. Art. 1496578. DOI: 10.3389/feduc.2024.1496578.

7. Tu L., Zhou F., Omata K., Li W., Huang R., Gao W., Zhu Z., Li Y., Liu C., Mao M., Zhang S., Yuan Q., Deng Y., Liu B., Li P. Increased Gray Matter Volume Induced by Chinese Language Acquisition in Adult Alphabetic Language Speakers // Frontiers in Psychology. 2022. Vol. 13. Art. 824219. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.824219.

8. Weng Y., Schmidt M., Huang W., Hao Y. The effectiveness of immersive learning technologies in K–12 English as second language learning: A systematic review // ReCALL. 2024. Vol. 36, No. 2. P. 210–229. DOI: 10.1017/S0958344024000041.

9. Yang Y., Huang Z., Yang Y., Fan M., Yin D. Time-dependent consolidation mechanisms of durable memory in spaced learning // Communications Biology. 2025. Vol. 8, No. 1. Art. 535. DOI: 10.1038/s42003-025-07964-6.

10. Zhi Y., Wu L. Extended reality in language learning: A cognitive affective model of immersive learning perspective // Frontiers in Psychology. 2023. Vol. 14. Art. 1109025. DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1109025.

PHYSICAL SCIENCES

THERMAL CONDUCTIVITY OF THE (SnSe)1-x(SmSe)x SYSTEM ALLOYS

Jalilova Sevinj Xazay[1]
Associate professor
V.A. Abdurahmanova[2]
Ph.d.
Atilla Rustambayli[3]
Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan, Baku[1,2]
Baku European Lyceum[3]
DOI: 10.5281/zenodo.21472219

Abstract

The article gives a brief analysis of the results of studying the temperature dependence of thermal conductivity and thermal resistance of the (SnSe)i-x(SmSe)x system alloys doped with samarium (Sm). It is established, that as the concentration of Sm atoms in the compositions increases, the value of the thermal conductivity coefficient decreases proportionally. Such a decrease sharply slows down at T > 300 K and the compositions show an increase in the value of thermal conductivity and a partial decrease in the thermal resistance.

Keywords: SnSe; samarium (Sm); thermal conductivity; thermal resistance; temperature dependence; thermoelectric materials.

I. Introduction

In recent years, interest in studying complex compounds and solid solutions based on compounds of the $A^{IV}B^{VI}$ group with participation of rare-earth metals (REM) has increased significantly. The reason for this is, on the one hand, the widespread use of $A^{IV}B^{VI}$ chalcogenides in the manufacture of energy converters, in electronics, laser technology and other fields [1-3], on the other hand, the peculiar specific properties of REM atoms. Despite the fact that REM are trivalent elements, in their internal electronic structure the process of filling of *4-f* level with electrons takes place [4]. Therefore, due to the presence of the mobile electrons formed at the internal *4-f* level, the transition f—>d—>s easily occurs. This, in turn, affects the change in the valence of the REM and the appearance of various physical properties in compositions involving the REM. Consequently, semiconductor materials with rare earth elements have different physical properties depending on the nature of the components present in the composition [5]. Despite the fact, that crystal SnSe belonging to the A^B^ group itself is a thermoelectric material, because of the large value of the thermal band gap *(8* g«0.92 eV), it also exhibit optical properties. By alloying such a crystal with intermediate physical properties with REM atoms, it is possible to obtain semiconductor materials with new physical properties. For this reason, the alloys of the (SnSe)[-x(SmSe)x systems studied by us are of interest.

2. Experimental

High-purity tin of Sn-000 grade, selenium of grade B4 and samarium with purity of 99.98% were used for preparation of the investigated compositions. For the study, the compositions x = 0.25;50; 0.75; 1.00 and 2.0 mo 1% were calculated for 10 grams of substance and filled into ampoules. After synthesizing quartz ampoules pumped to pressure P« 0.133 Pa, crystals were grown from the obtained ingots by the Bridgman method. The crystals were annealed at a temperature T = 620 °C during t = 142 hours. After this, a differential thermal analysis (DTA), X-ray phase analysis (XRD) were earned out and microstructure and sample density were investigated.

DTA of the compositions was performed on HTP-73 instrument at a rate of 10 deg/min, using Al2O3 as a reference and a chromel-alumel thermocouple. RFA was carried out using the device of model D-2 PHSEP. To reveal the microstructure, the samples were etched in a solution of HNO3: H2O2 = 1:1 for 20 seconds. The obtained results confirmed the stoichiometric composition of the samples. The thermal conductivity of the samples was studied in the temperature range T = 77-380 K.

3. Experimental results and discussion

The thermoelectric properties of some of these compositions were given elsewhere [7]. It has been found that the thermoelectric properties of some compositions with the participation of Sm atoms partially improve in the temperature range T > 350 K. The reason for this has not been clarified. In view of the fact that the thermal conductivity of substances is more sensitive to external influences, in the temperature range T = 77-380 K the temperature dependence of the thermal conductivity and thermal resistance for the above compositions were studied.

Fig. 1 shows the temperature dependence of the thermal conductivity of the investigated compositions. As can be seen from the figure, as content of SmSe component in the composition increases, the thermal conductivity coefficient decreases. On the other hand, in compositions into which Sm atoms were introduced, with an increase of the amount of this component, alongside with a decrease in the value of the thermal conductivity coefficient, is weakened its temperature dependence □(T). It can be seen from the graphs that in the temperature range T > 300 K, in contrast to the

□(T) dependence of the parent material, for the compositions an increase in □(T) is observed.

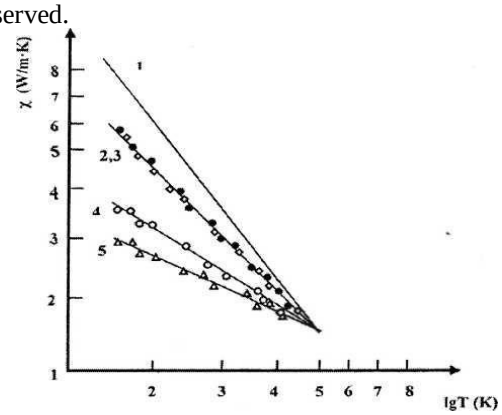


Fig. 2. Temperature dependence of the thermal conductivity of (SnSe)1-x(SmSe)x systems alloys: l-x=0.0 (reference data); 2-(•) x=0,25; 3 - (x) x=0.50; 4 - (o) x=l.Q; 5 - (□) x=2.0 mol%

The phase diagrams and some physic-chemical properties of the alloys of the $(SnSe)_{1-x}$ $(SmSe)_x$ system were investigated by the authors of [5]. It was found that the SmSe component dissolves in SnSe up to 5.0 mol% and during crystallization crystallizes with the replacement of part of tin by samarium. Because of the difference in the atomic radii of the components (r_{Sn}=1.40A^0; r_{Sm} =180A^0), the decrease in the thermal conductivity is due to the fact, that alongside with scattering of phonons by crystal defects, scattering also arises at centers created by Sm atoms, which leads to a sharp decrease in the value of □. Alongside with this, the increase in the number of Sm atoms in crystals enhances their interaction with each other, and the activity of these centers increases with increasing of the temperature. For this reason, as well as by filling of the part of vacant centers, the thermal conductivity at temperatures T > 300 K is anomalously increased. In other words, due to the increase in the number of Sm atoms in the compositions, a sort of "cleaning" process takes place, which leads to an increase in □ (T).

Fig. 2 shows the temperature dependences of the thermal resistance of the compositions studied.

As can be seen from the figure, in contrast to the temperature dependence of the thermal resistance □(T) for SnSe component, the additional thermal resistance arising in the compositions at low SmSe concentrations (x = 0.25, 0.50) is additive. In the □>(T) dependence, no sharp deviations are observed within the error of the experiment. Nevertheless, in the samples with composition x =1.0 and 2.0 mol% SmSe, the dependence of □(T) gives different results (Fig. 2, curves 4 and 5). This is due to the fact that as a result of the variable valence (Sm^{2+}, Sm^{3+}) Sm is also activated inside the crystal as a composition. Due to this activation, the process of "cleaning" of the crystal is intensified, which leads to a partial decrease in the thermal resistance. This corresponds to an improvement in thermal conductivity.

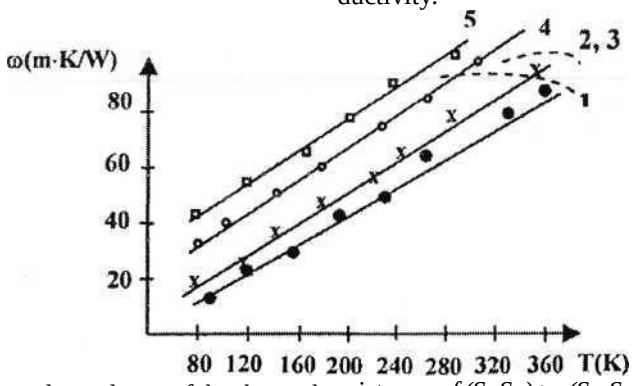


Fig. 2. Temperature dependence of the thermal resistance of (SnSe)1-x(SmSe)x systems alloys: 1-x = 0.0 (reference data); 2 - (•) x = 0.25;

3 - (x) x = 0.50; 4 - (o) x = 1.0; 5 - (□) x = 2.0 mol%

4. Conclusions

1. In the alloys of the $(SnSe)_{1-x}(SmSe)_x$ system, an increase in the amount of the SmSe component reduces the value of the thermal conductivity by 32-35% at a temperature T = 90 K.
2. The main reason for the decrease in the value of the thermal conductivity in the compositions is the creation of additional scattering centers by the introduced Sm atoms.
3. The occurrence of the Sm atoms in the crystal as a composition (x=1.0 and 2.0 mol%), together with an improvement in the "purification" of the crystal, increases the thermal conductivity.

References

1. Dmitriyev A.V., Zvyagin I.P. // Uspechi Fizicheskich Nauk - 2010.-V.180.- No.8.- P.821-837.
2. Agayev Z.F., Bagiyeva G.Z., Niftaliyeva J.Z., Barkhalov B.Sh. // Fizika.- 2008.- V. 14. - No. 3.- P. 92-94 (in Russian).

3. Kanatzidis M.G., Johnsen S., Girard S.N. //Nanoscape. - 2010.- V.7. -No.l.-P. 52-58.

4. Physical properties of rare earth chalcogenides. - Leningrad: Nauka, 1973 (in Russian).

5. Gurshumov A.P. Physico-chemical and physical nature of complex of semiconductor materials based on tin monoselenide. - Baku: Azerb. Rp. SNIO USSR, 1991 (in Russian).

6. Bagiyeva G.Z., Abdinova G.D., Mustafayev N.B., Abdinov D.Sh. // ФТП- 2014.-V. 48.- No. 2.- P. 149-151 (in Russian).

7. Prokofyeva L.V., Ravich Yu.l. et al.// FTP. - 2010.-V. 44.- No. 6.- P.742-747 (in Russian).

8. Abdurahmanova V.A., Tairov B.A., Ismayilov Sh.S. // Proceedings of VIII Republican Conference «Problems of Modern Physics», Baku.- 2014.- P. 119-122 (in Russian).

9. Abdurahmanova, V. A., Abdullaev, N. M., & Ismayilov, S. S. (2020). Electrophysical properties of the (SnSe) 1− x–(SmSe) x solid solutions at high and low temperature. *Modern Physics Letters B*, *34*(01), 2050008.

10. Jood, P., & Ohta, M. (2015). Hierarchical architecturing for layered thermoelectric sulfides and chalcogenides. *Materials*, *8*(3), 1124-1149.

A NEW MODEL OF CELESTIAL MECHANICS

Mark Solomonov
Israel, Netanya
DOI: 10.5281/zenodo.21472314

НОВАЯ МОДЕЛЬ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ

Соломонов Марк
Израиль, Нетания

Abstract

Critique of Newton's concept of absolute space. Definition of an inertial coordinate system. Rejection of Gallium coordinate systems and definition of local coordinate systems. Evaluation of the motion of planets in the solar system from the standpoint of the concept of local coordinate systems. Evaluation of the motion of satellites of planets in the solar system from the standpoint of the concept of local coordinate systems. Consequences of the concept of local coordinate systems. Critique of Newton's concept of absolute space. Consequences of the criticism.

Аннотация

Критика концепции абсолютного пространства Ньютона. Определение инерциальной системы координат. Отказ от галлиевых систем координат и определение локальных систем координат. Оценка движения планет солнечной системы с позиции концепции локальных систем координат. Оценка движения спутников планет солнечной системы с позиции концепции локальных систем координат. Следствия концепции локальных систем координат. Критика концепции абсолютного пространства Ньютона. Следствия критики.

Keywords: ‘fixed stars’; absolute space (stellar space), relative space, fixed space and local space; gravitational and inertial forces; gravitational and inertial mass; local (regional), fixed and absolute coordinate systems; estimation of the motion of planets and satellites; Yuri Alexandrovich Fomin’s principle and Einstein’s equivalence principle.

Ключевые слова: "неподвижные звёзды"; пространство абсолютное (Звездное пространство), пространство относительное, пространство неподвижное и пространство локальное (местное); силы гравитационные и инерционные; масса гравитационная и инертная; система координат локальная (местная), неподвижная и абсолютная; оценка движения планет и спутников; принцип Фомина Юрия Александровича и принцип эквивалентности Эйнштейна.

Введение

Для оценки движения тел в мировом пространстве, для расчета сил инерции, действующих на тела, необходимо верно определить ту координатную систему, которую принято считать инерциальной.

Предполагается, что такой координатной системой является координатная система, начало которой находится в центре масс Солнца, а координатные оси направлены к "неподвижным звёздам".

Что такое "неподвижные звёзды" и относительно чего они неподвижны - никто не знает.

Все попытки определить единую неподвижную систему координат не увенчались успехом, более того, сама концепция абсолютного пространства подвергнута критике многими (Беркли [1], Лейбниц [2], Мах [3] и др.).

Рассмотрим пример:

При вращении волчка на поверхности Земли внутри него возникают центробежные силы, которые при определенных оборотах могут его разорвать.

Вопрос: относительно каких координатных осей следует учитывать влияние оборотов волчка при расчете центробежных сил, возникающих внутри него?

Ответ: в наших земных условиях мы координатные оси привязываем жестко к поверхности Земли.

Тогда возникает другой вопрос:

Но и Земля вращается вокруг своей оси, тогда как определить величину центробежных сил, возникающих при вращении самой Земли вокруг своей оси?

Ведь Земля вокруг своей оси относительно Земли не вращается, тем не менее внутри неё возникают центробежные силы.

Как определить координатную систему для оценки центробежных сил, которые "разрывают" Землю изнутри. Ведь при нулевых оборотах силы равны нулю, но всем известно, что это не так: шар земной приплюснутый.

Дальше начинают переходить к другим координатам, ориентированным по "неподвижным звёздам". Но это - большое заблуждение.

Критикуя Ньютона [4], Беркли писал, что если во Вселенной уничтожить все тела, и оставить одно единственное тело, например, Землю, то вообразить движение Земли в таком пространстве будет невозможно.

Наше сознание способно представить себе только относительное движение: движение одного тела относительно другого.

Для того чтобы представить себе движение в мировом пространстве необходимо иметь в нём как минимум два тела.

Движение одного единственного тела в отсутствии других тел невозможно.

Вообразить вращение двух тел (например, двойной планеты) относительно общего центра масс, если эти тела единственные во Вселенной, невозможно.

Придадим обороты волчку, расположенному на поверхности Земле. Сохраняя обороты волчка, и удаляя волчок в "бесконечность" от Земли, попробуем определить центробежные силы, возникающие внутри него. Но сделать это в бесконечном удалении от Земли не получится, так как невозможно будет определить его обороты.

Ещё пример:

Сохраняя обороты волчка относительно поверхности Земли, будем его перемещать от Земли к любому другому телу, например, к Луне, к Марсу, к Солнцу и т. д.

Но все эти тела друг относительно друга не движутся равномерно и прямолинейно.

И волчок, с зафиксированными оборотами на Земле, перенесенный на Луну, будет на поверхности Луны иметь другие обороты.

Так относительно чего следует рассчитывать инерционные силы волчка с одним и тем же его состоянием в "абсолютном пространстве ", находящимся на поверхности Луны и на поверхности Земли? Ведь при одних и тех же оборотах в "абсолютном пространстве" обороты этого волчка относительно планет будут разные.

Юрий Александрович Фомин (1923–2001) [5] предложил рассчитывать инерционные силы в локальных системах координат:

В каждой точке пространства в каждый данный момент времени существует одна единственная координатная система, за основу которой нужно брать результирующий гравитационный вектор, от влияния всех гравитационных тел.

На поверхности Земли такую координатную систему следует определять по сумме гравитационных полей Земли, Луны, Солнца.

Основная составляющая данного суммарного гравитационного вектора на поверхности Земли приходится на Землю, напряжённость гравитации Солнца в области поверхности Земли приблизительно в 1650 раз меньше земной составляющей. Лунная гравитационная составляющая ещё меньше. Поэтому, находясь на Земле, при оценке центробежных и инерционных сил не прибегают к "абсолютным координатам".

Но для оценки движения в мировом пространстве оценивать движение тел относительно Земли уже не получится.

В бесконечном удалении волчка от всех небесных тел, то есть, в пространстве, где сам волчок является единственным телом во Вселенной, определить внутри него центробежные силы невозможно.

И поэтому, с какими оборотами он бы не вращался, в отсутствии внешних тел, а следовательно, и в отсутствии внешней гравитации, то есть, когда внешний результирующий гравитационный вектор равен нулю, инерционные силы внутри него возникать не будут.

Очень интересные выводы следуют из этой концепции:

1. Внешнее гравитационное поле и величина его интенсивности, являются обязательными для того, чтобы при движении тел возникали центробежные и инерционные силы.

2. При оценке инерционных сил во внешнем гравитационном поле величина этих сил будет определяться также интенсивностью самого внешнего гравитационного поля.

Если внешний результирующий гравитационный вектор равен нулю, то есть, тел во Вселенной нет, то и движения тел в таком пространстве быть не может, то есть инерционные силы, действующие на тела в таком "абсолютном пространстве", всегда равны нулю.

3. Принцип эквивалентности инерционных и гравитационных сил не выдерживает критики, поскольку инерционные силы проявляются только во внешнем гравитационном поле и вне его возникать не могут. Гравитация является первичной, а инерция - вторичной. И ставить между ними знак тождества нельзя.

4. Создание искусственной гравитации в космическом корабле за счёт вращения кабины астронавта в бесконечном удалении от небесных тел, или в области пространства с бесконечно малой гравитацией - невозможно (ошибка Циолковского К. Э., Фомин Ю. А [6]).

5. По этой концепции, движение планет солнечной системы, и их спутников, оцениваются совсем по-другому.

Определение инерциальной системы координат в произвольной точке пространства.

Рассмотрим несколько мысленных опытов. Мы имеем несколько массивных круговых платформ (маховиков) с одинаковой массой, расположенных друг над другом и зафиксированных одной общей осью вращения. Эти маховики имеют возможность свободно вращаться относительно их общей оси вращения, к которой они прикреплены, с разными угловыми скоростями, и при этом не оказывая друг на друга никакого влияния.

На эту же общую ось вращения наденем маленький волчок, который относительно поверхности Земли будет иметь нулевые обороты.

Всем маховикам продадим разные обороты относительно поверхности Земли, сохраняя нулевые обороты волчка относительно поверхности Земли.

В этом случае волчок будет совершать разные обороты относительно каждой из платформ, тем не

менее, внутри него не будут проявляться центробежные силы, так как относительно поверхности Земли он покоится. Он в этом случае не совершает движения во внешнем гравитационном поле Земли. Относительно каждой из платформ волчок будет совершать разные обороты, но эти обороты никак не будут влиять на величину центробежных сил внутри волчка.

Вопрос заключается в том, относительно какой координатной системы следует учитывать влияние оборотов волчка при расчете центробежных сил, возникающих внутри него. Очевидно, относительно поверхности Земли. Если обороты волчка равны нулю, то и центробежные силы также равны нулю. Значит, мы за неподвижную систему отсчёта принимаем Землю.

Мысленно, при сохранении состояний всех тел - Земли, платформ и волчка – будем плавно "менять" массы двух тел, Земли и одной из платформ. При чём таким образом, что в конце концов масса одной платформы станет равной массе Земли, а масса Земли станет равной массе платформы. Вопрос тот же самый, относительно каких координатных осей следует учитывать влияние оборотов волчка для определения центробежных сил возникающих внутри него. Относительно "Земли", уменьшенной до массы платформы, волчок опять покоится, а относительно платформы он также сохранил своё состояние.

Только Земля с платформой "поменялись" массами.

В данном случае, внутри волчка будут проявляться центробежные силы, для определения величины которых, необходимо учитывать обороты волчка относительно платформы, масса которой стала равна массе Земли. Именно гравитационное поле этой платформы будет оказывать влияние на образование центробежных сил внутри волчка.

Отсюда вывод, что мы, при расчете центробежных сил всегда привязываем координаты к массивным гравитационным телам. И возвращаемся к определению Фомина Ю.А.: в каждой точке пространства в каждый данный момент времени существует одна единственная координатная система, за основу которой нужно брать результирующий гравитационный вектор, который равен геометрической сумме всех гравитационных векторов от находящихся небесных тел.

То есть, если мы хотим оценить величину центробежных сил, возникающих внутри волчка, то мы должны учитывать влияние гравитационных полей всех внешних гравитационных источников. Например, если волчок вращается в области пространства между Луной и Землёй, где величины напряженностей гравитаций Луны и Земли одного порядка, то необходимо учитывать влияние обоих тел. Каждое тело, Луна и Земля, будет вносить в создание центробежной силы внутри волчка свое влияние. В результате, мы будем иметь результирующую центробежную силу внутри волчка от влияния нескольких внешних тел. Таким образом, есть все основания предполагать, что инертные свойства тела зависят от напряженности внешнего гравитационного поля.

Сохраняя состояние вращения волчка и удаляя его от Земли, величина центробежных сил, возникающих внутри него, будет постепенно уменьшаться, а в бесконечном удалении вообще будет равна нулю. То есть, в области пространства, где нет гравитации и внешних тел, не может быть движения (невозможно будет определить движение) и вращения, - в частности, и никаких инерционных и центробежных сил. То есть, гравитационные свойства тел, свойства притягиваться, - первичны, а инерционные свойства тел - вторичны, и проявляются только во внешнем гравитационном поле.

Ещё один интересный вывод обнаруживается:

На поверхности Земли мы условно приняли гравитационные массы тел, находящихся на её поверхности, равными их инертным массам. А так как величина инертной массы тела меняется в зависимости от интенсивности внешнего гравитационного поля, то это означает, что инертная масса тела не является абсолютной величиной. Одно и тоже тело в условиях разной внешней гравитации будет обладать разными значениями инертной массы, и в принципе, можно установить закономерности изменения инертной массы тела.

По всей видимости, инертная масса любого тела является функцией внешнего гравитационного поля, а отношение инертной массы тела к его гравитационной массе на поверхности Земли мы приняли равным единице. Опыт Этвеша [7] доказывает, что отношение инерционной массы к гравитационной массе одинаково и постоянно для всех тел в данной области гравитационного поля. Но этот опыт не доказывает абсолютного характера инертной массы. Опыты Этвеша, Галилея [8], и других доказывают пропорциональность инертной и гравитационной масс, но не доказывают того, что инертная масса является величиной постоянной. Инертная масса тела пропорциональна величине внешней гравитации, и результирующий гравитационный вектор будет являться коэффициентом пропорциональности.

Предполагается, что при дальних космических перелётах можно будет создавать искусственное тяготение за счёт осуществления вращения космического корабля. При этом, возникающая центробежная сила прижмёт космонавтов к внешним стенкам корабля.

Впервые эта идея была высказана в 1895 г. К. Э. Циолковским. Однако, эта идея не является верной, поскольку центробежные силы могут возникать только во внешнем гравитационном поле, в котором это вращение будет осуществляться. А при дальних космических перелётах оно будет непрерывно изменяться по мере удаления от материнской планеты и, особенно, от центральной звезды планетарной системы. По мере удаления от источника внешнего гравитационного поля необходимо будет

непрерывно увеличивать обороты вращения корабля для достижения желаемого эффекта, а на существенных расстояниях от источника гравитации вращение вообще будет бесполезным, так как вне внешних гравитационных полей инерционные силы проявляться не будут.

Поэтому можно утверждать, что существует такой механический опыт, который позволит отличить систему отсчёта, связанную с равномерно ускоренным лифтом в отсутствии гравитации, от системы отсчёта, связанной с неподвижным лифтом, висящем в однородном поле тяжести.

Достаточно измерить величину центробежных сил внутри волчков при равных оборотах в двух системах координат (в двух лифтах), и опыт покажет, что в поле тяжести возникнет центробежная сила, а в "ускоренном лифте" в отсутствии гравитации центробежная сила не проявится вообще.

Но вернёмся к вопросу определения той системы отсчёта (инерциальной), относительно которой можно определять обороты волчка для измерения величины центробежных сил. По Галилею можно пользоваться произвольными инерциальными системами координат, ориентированным по каким-либо небесным телам, условно принятые за неподвижные тела. Система отсчёта, которая движется равномерно и прямолинейно относительно инерциальной системы координат, также является инерциальной.

Поясним это примером. Если мы хотим рассчитать центробежные силы, возникающие в волчке, расположенном на Луне, то будет неверно пользоваться координатной системой, привязанной к поверхности Земли. В данном случае основную составляющую результирующего гравитационного вектора в точке, где будет находиться волчок, составит Луна. Поэтому расчет необходимо будет проводить в координатной системе, связанной с поверхностью Луны. Гравитационные составляющие на поверхности Луны от Земли и других небесных тел будут намного меньше лунной составляющей.

Но при идеальном определении инерциальной системы координат мы должны учитывать и все эти составляющие.

Инерциальной системой отсчёта является та система координат, в основу которой положен результирующий гравитационный вектор в данной точке пространства.

Второй момент: величина инертной массы тела зависит от интенсивности внешнего гравитационного поля, в котором данное тело перемещается. Именно поэтому, вращаясь вместе с Землёй, мы не замечаем этого вращения, так как основную составляющую результирующего гравитационного поля на своей поверхности создаёт наша планета.

Предложение новой модели небесной механики.

Идея существования бесконечного множества инерциальных систем, которые движутся относительно друг друга равномерно и прямолинейно - неверная.

Принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс ошибочен. Для расчета траекторий небесных тел возьмём другие положения:

1. В каждой точке пространства в данный момент времени существует одна истинная координатная система, относительно которой могут решаться все вопросы механики.

Основой построения этой координатной системы является результирующий гравитационный вектор, представляющий собой геометрическую сумму всех гравитационных взаимодействий, проявляющихся в данной точке пространства.

2. Принцип неэквивалентности инертной и гравитационной масс, поскольку гравитация всегда первична и является непременным свойством материальных тел, а инерционные силы всегда вторичны и проявляются только при перемещении тел во внешних гравитационных полях. Если гравитационного поля нет, то на тела не будут действовать никакие инерционные силы.

Положение 1, сформулированное Фоминым Ю. А., будет мной представлено несколько в ином виде по той причине, что возникают конкретные сложности, при определении в данной точке пространства результирующего гравитационного вектора, по которому следует ориентировать координатную систему для решения всех вопросов механики.

Инерциальную систему координат следует определять по гравитационному вектору, который имеет объёмную природу. Но построить результирующий объемный гравитационный вектор, который будет равен геометрической сумме нескольких объемных гравитационных векторов, не представляется возможным. То есть, определить результирующее гравитационное поле в данной точке пространства от влияния всех небесных тел мы не можем.

Мы можем построить результирующий геометрический вектор.

Но просуммировать все внешние гравитационные поля и заменить их одним результирующим гравитационным полем - не можем. Поэтому будем рассматривать движение тела одновременно во всех полях, и пробовать (пытаться) оценить влияние на движение конкретного тела каждого из внешних полей по отдельности. Это очень непростая задача, но такой подход может помочь сделать очень правильный анализ.

Теперь о состоянии покоя. Состояние абсолютного покоя возможно только в "абсолютном пространстве". Но поскольку мы не в силах определить "абсолютного пространства", то и определение абсолютного покоя также невозможно. В реальной Вселенной состояние покоя может быть только относительным.

То же самое касается и возможности определения состояния свободного падения.

В механике следовало бы осторожно пользоваться такими понятиями как "вверх", "вниз", "вертикально", "горизонтально" и т. д. Наше представление "верха" и "низа" на Земле формируется по восприятию направления вектора напряженности нашей планеты (силы тяжести). Но эти понятия теряют всякий смысл, если внешнего гравитационного поля вообще нет, и становится невозможным определить "верх" и "низ". Приведем цитату из одного учебника физики, где пытаются обосновать принцип эквивалентности Эйнштейна: "Вообразим теперь, что лифт настолько удалён от Земли и прочих небесных тел, что он практически не подвергается с их стороны никаким гравитационным воздействиям. Но пусть, зато кто-то тянет за трос лифта, сообщая ему постоянное ускорение, направленное "вверх" ".

Данная цитата по своему смыслу является полным абсурдном. Самое правильное в ней то, что слово "вверх" они не забыли заключить в кавычки. Было бы замечательно, если бы авторы этого текста смогли определить направление "верха" в области пространства, где отсутствует внешнее воздействие, когда ускорение свободного падения равно нулю (они поступили хитро, написали: практически отсутствует внешнее воздействие. Но, это не меняет сути вопроса. Невозможно определить движение и направление, если нет внешнего гравитационного поля.

Движение планет солнечной системы с позиции концепции локальных систем координат.

Основным источником внешней гравитации для планет солнечной системы является гравитация Солнца. Все планеты солнечной системы находятся в состоянии свободного падения относительно поверхности Солнца.

Если бы планеты не совершали бы обращения в гравитационном поле Солнца, то они упали бы на его поверхность.

Солнце не является твердым телом, и привязать к его поверхности жёстко координатную систему непросто.

Точно определить период обращения Земли относительно поверхности Солнца невозможно, так как различные слои Солнца совершают полный оборот вокруг его оси за разное время. Период вращения Солнца вокруг своей оси в звёздной системе координат составляет от 25 суток на экваторе до 33 суток вблизи полюсов. Поэтому для определения периода одного полного оборота Земли вокруг поверхности Солнца возьмём среднее значение вращения Солнца вокруг своей оси, около 27 суток.

Ось вращения Солнца образует с плоскостью эклиптики угол около 83 градусов.

Но поскольку моей задачей не является произвести точный расчет, а дать модель расчета, то будем считать, что ось вращения Солнца перпендикулярна плоскости эклиптики.

Если смотреть со стороны северного полюса мира, то вращение Солнца вокруг оси происходит в направлении движения Земли по орбите.

Если мы хотим определить угловую скорость обращения Земли по орбите относительно поверхности Солнца, то для этого необходимо поверхность Солнца принять неподвижной, так как локальная система координат привязывается к этой поверхности.

Введём условность: допустим, что Солнце — это твёрдое тело и вращается в координатной системе "Солнце - Звёзды" с периодом вращения вокруг своей оси в 27 суток. Следовательно, Земля, если смотреть на нее со стороны северного полюса, будет уже обращаться вокруг Солнца, с точки зрения условного наблюдателя, находящегося на поверхности Солнца, не против часовой стрелки, а по часовой стрелке.

При грубых подсчётах Земля совершает около 12,5 оборотов за 365 дней (за год) по орбите вокруг поверхности Солнца, и направление обращения Земли вокруг поверхности Солнца происходит по часовой стрелке, если смотреть со стороны северного полюса мира. То есть, значение угловой скорости обращения Земли вокруг Солнца, необходимое для расчета величины центробежной силы, не позволяющей Земле упасть на Солнце, должно быть в 12,5 раз больше того значения, которое, по моей гипотезе, ошибочно приняли в расчет. Принимать значения угловых скоростей движения всех планет для расчета центробежных сил инерции, действующих на планеты, в гелиоцентрической системе координат неверно.

То же самое следует сделать для расчета центробежных сил, действующих на все планеты солнечной системы. Периоды обращения планет в этой системе координат получаются совсем другие. В координатной системе, жестоко привязанной к гравитационному полю Солнца, все планеты будут двигаться вокруг Солнца по часовой стрелке, если на них смотреть со стороны северного полюса мира, и угловые скорости их периодов обращения вокруг Солнца будут сильно отличаться от их же периодов обращения в гелиоцентрической системе координат.

Оценка динамики движения спутников планет солнечной системы с позиции новых положений.

Допустим, что во Вселенной имеется только одно массивное тело - Земля. Земля имеет форму правильного шара с равномерно распределенной плотностью. Во "Вселенной", где нет Солнца и "неподвижных звёзд", можно всеобщую систему координат привязать к Земле. Земля в этой системе координат может находиться только в состоянии покоя. В данной "Вселенной" говорить о движении Земли вообще не приходится.

Назовём такую гипотетическую Вселенную гипотетической "Вселенной 1".

Разместим в этой "Вселенной 1" несколько одинаковых волчков на разных высотах, и

придадим им одинаковые обороты относительно поверхности Земли.

С позиции сторонников Ньютона, которые считают инерцию тела абсолютной и независимой от внешней гравитации, внутри всех волчков величина центробежных сил при равных оборотах будет одинаковой.

С позиции Фомина Ю.А. внутри всех волчков величина центробежных сил при равных оборотах будет разной, так как все волчки будут находиться в разных условиях внешней гравитации Земли.

Внутри волчков, размещенных на разных высотах, при одних и тех же оборотах будут проявляться разные по величине центробежные силы, так как они будут находиться в разных по величине гравитационных полях. Волчок, находящийся на поверхности Земли, будет обладать максимальным значением инертной массы. Волчок, находящийся в бесконечном удалении от Земли, будет обладать нулевым значением инертной массы, и при любых оборотах центробежные силы внутри него возникать не будут.

Теперь рассмотрим движение спутников вокруг Земли по круговым орбитам с произвольными радиусами в двух гипотетических Вселенных, "Вселенной 1.1" и "Вселенной 1.2", состоящих только из одной планеты Земли и спутников, но отличающихся друг от друга тем, что во "Вселенной 1.1" инерция искусственных спутников является независимой от внешней гравитации, а во "Вселенной 1.2" инерция искусственных спутников будет зависеть от интенсивности внешнего гравитационного поля Земли. Во "Вселенной 1.1" инертная масса спутника будет всегда равна его гравитационной массе, спутники находящиеся на разных высотах будут иметь одинаковую инертную массу.

Во "Вселенной 1.1" при увеличении радиуса орбиты кругового спутника его период обращения будет увеличиваться, а орбитальная скорость - уменьшаться. При радиусе орбиты, стремящейся к бесконечности, орбитальная скорость обращения спутника будет стремиться к нулю.

Заметим, что во "Вселенной 1.1" и "Вселенной 1.2" существование геостационарного спутника невозможно. Геостационарным спутником называется спутник, период обращения которого равен периоду вращения Земли. Движение Земли в этих Вселенных невозможно, и вращение, в частности. По концепции Фомина Ю.А., центробежная сила, которая не позволяет геостационарному спутнику упасть на Землю, а Земле упасть на геостационарный спутник, возникает при совместном обращении системы тел "Земля - геостационарный спутник" вокруг их общего центра масс во внешнем гравитационном поле Солнца. Другими словами, центробежная сила может возникнуть, если имеется общее для Земли и геостационарного спутника внешнее гравитационное поле.

Но во "Вселенной 1.1" и во "Вселенной 1.2" вращение и обращение Земли невозможно, так как ей не в чем вращаться и перемещаться. Поэтому говорить о совпадении периода обращения спутника с периодом вращения Земли в несуществующем внешнем гравитационном поле не приходится.

Во "Вселенной 1.2" в отличии от "Вселенной 1.1" периоды обращения спутников на разных высотах будут сильно отличаться, так как инертные массы одних и тех же спутников на разных высотах будут разными. Так как инертная масса спутника при увеличении его орбиты будет уменьшаться, то это будет сильно влиять на период его обращения.

Допустим, что во "Вселенной 1.2" имеется несколько искусственных спутников с равными гравитационными массами (несоизмеримо меньшими по сравнению с массой Земли), которые обращаются в одной плоскости и в одном направлении вокруг Земли на разных высотах, от нулевой орбиты до орбиты, превышающий радиус Земли в 10 раз.

Период обращения нулевого спутника будет составлять 1 час 24 минуты. По прикидочной оценке [9], период обращения дальнего спутника будет равен 1 часу. К такой грубой оценке я пришел при проведении аналогии с движениями планет солнечной системы в координатной системе, ориентированной по поверхности Солнца, при этом, условно приняв Солнце твердым телом с периодом вращения 27 суток вокруг своей оси в звёздной системе координат.

Добавим во "Вселенную 1.2" Солнце (твёрдое тело). Назовём её гипотетической "Вселенной 2". Допустим, что Земля во "Вселенной 2" будет обращаться вокруг Солнца с тем же локальным периодом, что и в реальной Вселенной, 29.16 суток. Говорить о сидерическом периоде обращения Земли не приходится, так как нет "неподвижных звёзд".

Поэтому определить движение Земли можно только в системе координат, жёстко связанной с Солнцем. Примем ось вращения Земли перпендикулярной к плоскости её орбиты. Расстояние между центрами масс Солнца и Земли равно одной астрономической единицы. На Землю будут действовать силы притяжения Солнца и центробежная сила инерции, которая будет возникать при обращении Земли по орбите в гравитационном поле Солнца. Эти силы должны быть равными и противоположно направленными. Если Земля будет вращаться ещё вокруг своей оси в гравитационном поле Солнца, то внутри неё будут возникать центробежные силы, действующие на её разрыв.

Инертная масса Солнца во "Вселенной 2" будет не определена, то есть равна нулю, так как нет внешнего гравитационного поля, в котором можно было бы определить движение самого Солнца.

Во "Вселенной 2" искусственные спутники будут обращаться не только в гравитационном поле Земли, но и в гравитационном поле Солнца. Поэтому они будут обладать уже двумя значениями инертной массы: инертной массой в

гравитационном поле Земли и инертной массой в гравитационном поле Солнца. Величины этих инертных масс будут зависеть от интенсивности гравитационных полей Земли и Солнца.

При обращении спутников во внешних гравитационных полях планет и Солнца нужно различать два типа обращений:

1. Обращение спутника во внешнем центральном гравитационном поле планеты, когда центр, вокруг которого обращается спутник по круговой орбите, совпадает с центром масс планеты.

2. Обращение спутника во внешнем однородном гравитационном поле Солнца, когда центр, вокруг которого обращается спутник, находится далеко от центра масс источника гравитационного поля (обращение в однородном поле Солнца).

Приведем один из примеров возникновения центробежной силы инерции при обращении тела во внешнем однородном (приблизительно) поле Земли:

Диск, вращающийся вокруг перпендикулярной к нему вертикальной оси.

Вместе с диском вращается надетый на спицу шарик, соединённый с центром диска пружиной. Шарик совершает обращение в однородном поле Земли вокруг центра, фиксированного на её поверхности. В пределах обращения шарика гравитационное поле Земли можно считать однородным.

Обращение шарика, надетого на спицу, в однородном гравитационном поле Земли, аналогично обращению спутника Земли в однородном гравитационном поле Солнца (приблизительно однородном).

Итак, искусственный спутник Земли во "Вселенной 2" одновременно обращается в центральном поле Земли и в однородном поле Солнца (в грубом приближении).

Во "Вселенной 2" можно было бы рассмотреть два варианта движения Земли:

Земля обращается вокруг Солнца и повёрнута к нему всегда одной стороной ("Вселенная 2.1").

Земля обращается вокруг Солнца и при этом вращается вокруг своей оси в его гравитационном поле с солнечным периодом, равным 24 часам. Ось вращения Земли перпендикулярна плоскости своей орбиты ("Вселенная 2.2").

"Во вселенной 2.2 " сила реакции опоры, действующая на тело, находящегося на поверхности Земли, будет меньше, чем во "Вселенной 2.1" на величину центробежной силы, возникающей при обращении этого тела вместе с Землёй вокруг её центра масс в гравитационном поле Солнца.

Во "Вселенной 2.1" и "Вселенной 2.2" спутники одновременно обращаются в двух внешних гравитационных полях: в центральном поле Земли и в однородном поле Солнца.

Центр обращения спутников в полях Солнца и Земли будем считать совмещённым с центром масс Земли.

На обращающийся вокруг Земли спутник будут действовать одновременно две центробежные силы:

1. Центробежная сила, возникающая при обращении спутника в центральном поле Земли.

2. Центробежная сила, возникающая при обращении этого же спутника вокруг Земли в однородном поле Солнца.

Каждая из этих двух центробежных сил должна определяться в своей системе координат.

Получается несколько необычно: две центробежные силы, действующие на один спутник, необходимо определять в разных системах координат. Зато это будет правильно.

Выглядит это так: сила притяжения спутника к Земле компенсируется суммой двух центробежных сил, каждая из которых возникает при перемещении спутника в конкретном поле (Земли и Солнца).

Обычно, влияние нескольких сил на одно тело определяется в одной системе координат. В нашем случае — это невозможно.

То есть, сила притяжения спутника к Земле должна быть равна результирующей центробежной силе, которая состоит из двух слагаемых: центробежной силе от влияния гравитационного поля Земли и центробежной силе от влияния гравитационного поля Солнца.

На примере "Вселенной 2.2" попробуем разобраться, благодаря влияниям каких сил становится возможным существование геостационарного спутника. Будем считать, что все наши исследуемые спутники движутся в плоскости экватора, которая совпадает с плоскостью орбиты Земли. На высоте 36800 км в плоскости экватора возможно существование спутника, который не перемещается в гравитационном поле Земли.

По концепции локальных систем координат, величина результирующей центробежной силы, действующей на круговой спутник, состоит из двух частей, от влияния поля Земли и от влияния поля Солнца. Но геостационарный спутник в гравитационном поле Земли движения не совершает, и следовательно, значение центробежной силы от влияния поля Земли равно нулю. Получается, что геостационарный спутник уравновешивается с силой притяжения Земли только благодаря солнечной составляющей центробежной силы. То есть, Земля и геостационарный спутник обращаются во внешнем гравитационном поле Солнца вокруг их общего центра масс, который почти совпадает (но не совпадает) с центром масс Земли. В отсутствии влияния гравитационного поля Солнца существование геостационарного спутника Земли было бы невозможно.

Согласно концепции "неподвижных звёзд" возможно существование кругового полюсного спутника с радиусом орбиты, равному орбите геостационарного спутника, 36800 км.

По концепции локальных систем координат — это невозможно, так как на расстоянии 36800 км при попытке вывести на орбиту полюсной спутник,

на этом расстоянии суммарное значение центробежной силы будет превышать силу притяжения к Земле.

С позиции концепции абсолютного пространства движение полюсного спутника вокруг Земли на высоте 36800 км должно быть идентичным движению геостационарного спутника, то есть полюсной спутник на этой высоте должен совершить полный оборот вокруг Земли за одни сутки. По моей оценке, существование полюсного спутника с радиусом орбиты равному 43200 км невозможно.

С позиции концепции абсолютного пространства считается возможным существование двух обратных спутников Земли, то есть, спутников, движущихся на одной круговой орбите в разных направлениях с одним и тем же периодом обращения. С позиции локальных систем координат в реальной Вселенной существование обратных спутников Земли с равными периодами, невозможно, так как при обратном обращении на одной орбите на спутники будут действовать различные по численному значению солнечные и земные составляющие центробежных сил. Это будет происходить по той причине, что гравитационное поле Земли вращается вместе с Землёй в гравитационном поле Солнца. В результате, чтобы добиться существования двух спутников на одной орбите, и движущихся в разных направлениях с одинаковыми периодами обращения, необходимо у обратного спутника выбрать такое значение орбитальной скорости, чтобы суммарная центробежная сила от влияния Солнца и Земли равнялась силе притяжения спутника к Земле. Это будет невозможно при одинаковых периодах обращений обратных спутников.

И ещё: при попытке получить круговой спутник, радиус орбиты которого будет больше радиуса орбиты геостационарного спутника, результирующая центробежная сила, действующая на этот спутник, всегда будет превышать силу притяжения к Земле.

Действительно, если центробежная сила, действующая на геостационарный спутник от земной составляющей, равна нулю, и результирующая центробежная сила у него равняется солнечной составляющей, то при увеличении радиуса орбиты кругового спутника, выше радиуса геостационарной орбиты, величина этой силы будет возрастать, за счёт увеличения расстояния от Земли (радиуса орбиты) и появления дополнительной составляющей центробежной силы, в случае, если он будет обращаться в гравитационном поле Земли. Поэтому, удержать спутник на круговой орбите, превышающей радиус геостационарной орбиты, будет невозможно.

Центробежная сила, при любом значении угловой скорости обращения спутника вокруг Земли, в том числе, если она будет равна нулю, будет всегда превышать силу притяжения к Земле, если это расстояние будет превышать радиус геостационарной орбиты. Существование кругового спутника с радиусом орбиты больше геостационарной -невозможно.

Следует пересмотреть взгляды на существование так называемой "тёмной материи" с позиции локальных систем координат. Необходимость в появлении "темной материи" возникла в неспособности объяснения движения небесных тел в рамках концепции "абсолютного пространства". Если попробовать дать объяснение движения тел в рамках концепции локальных систем координат, то необходимость в существовании "тёмной материи" отпадет, поскольку в концепции " абсолютного пространства" расчет гравитационных масс небесных тел Вселенной, а также расчет инертных масс небесных тел, а также выбор инерциальных систем координат для определения инерционных сил, в том числе и центробежных, действующих на небесные тела был произведен неверно.

Появляется возможность дать объяснение наличию у комет двух и более хвостов, с позиции концепции локальных систем координат.

Если комета будет находится под влиянием нескольких мощных гравитационных источников в области пространства, где напряжённости гравитационных полей будут одного порядка, то у одной кометы кратковременно могут появиться несколько хвостов от влияния нескольких гравитационных тел (например, Земли и Луны), включая влияние гравитации Солнца, и направления хвостов одной и той же кометы будет определяться направлением её перемещения в каждом гравитационном поле отдельно.

В реальной Вселенной расчеты движения небесных тел, планет и их спутников, следует производить в точности, как и в гипотетической "Вселенной 2.2".

Целью настоящей статьи не было произвести точный расчет движения небесных тел. Я пытался изложить свою принципиальную позицию, на основе которой следует проводить расчеты движения спутников, планет и других небесных тел.

Анализ движения круговых спутников Земли реальной Вселенной.

На поверхности Земли мы условно принимаем инертную массу тела равной его гравитационной массе:

$$m_{\text{ин}} = m_{\text{гр}}.$$
$$\frac{m_{\text{ин}}}{m_{\text{гр}}} = 1, \qquad (1)$$

$m_{\text{гр}}$ - гравитационная масса кругового спутника;

$m_{\text{ин}}$ – инертная масса кругового нулевого спутника.

Это равенство (1) выполняется при условии напряжённости внешнего гравитационного поля равному 9,8 м/с2, то есть, для нулевого кругового спутника.

Инертная масса, в отличии от гравитационной, не является абсолютной (постоянной) величиной. Она меняется в зависимости от напряжённости

внешнего гравитационного поля. Для одного и того же тела его инертная масса будет различной в разных условиях внешней гравитации. Поэтому отношение (1) будет справедливым только для нулевого кругового спутника. На других высотах у одного и того же спутника величина отношения его инертной массы к его гравитационной массе будет определяться выражением:

$$m_{ин}/m_{гр} = f(g), \qquad (2)$$

С увеличением радиуса орбиты кругового спутника отношение (2) будет уменьшаться и принимать значения меньше единицы.

Опыт Этвеша показывает, что отношение (1) справедливо для разных тел при g = 9,8 м/с2, то есть на поверхности Земли.

Для расчета первой космической скорости кругового спутника Земли необходимо правильно определить координатную систему, относительно которой эта скорость (орбитальная или угловая) будет определяться.

Интересно, что этот первостепенный вопрос в учебниках по механике и астрономии обходят стороной. Обычно вопрос об определении первой космической скорости излагается так: "Положив радиус орбиты равным радиусу Земли R, напишем уравнение

$$\frac{mV^2}{R} = mg;$$
$$V = \sqrt{gR}. \qquad (3)$$

Но не указывается в какой координатной системе эта скорость определена: относительно "неподвижных звёзд " или относительно поверхности Земли. Ведь это две разные системы координат.

Неподвижную систему координат нужно определять по результирующему гравитационному вектору. Для искусственного спутника вблизи поверхности Земли основным источником внешней гравитации является наша планета. Поэтому орбитальная и угловая скорости движения кругового спутника по орбите должны измеряться в координатной системе жёстко привязанной к поверхности Земли, а не к "неподвижным звёздам". В данном случае напряжённость гравитационного поля Земли будет существенно превышать напряжённость гравитационных полей Солнца, Луны и других небесных тел.

Если спутник существенно удалён от поверхности Земли, то влияние на него гравитационных полей Солнца и Луны может оказаться соизмеримым с влиянием поля Земли. Также необходимо знать все значения величин инертной массы для одного и того же спутника в гравитационном поле каждого небесного тела - Солнца, Луны и Земли.

За одни сутки нулевой круговой искусственный спутник совершит около 17 оборотов вокруг Земли в системе координат "Солнце - Звёзды".

За одни сутки нулевой круговой искусственный спутник совершит на один оборот меньше в локальной системе координат, жёстко привязанной к поверхности Земли, то есть, он сделает 16 оборотов, так как Земля вращается в одну сторону со спутником и за сутки она совершит один полный оборот.

Получается, что периоды обращения одного и того же искусственного спутника Земли в координатной системе "Солнце - Звёзды"

$T_{с-зв}$= 84 мин 12 сек и в локальной системе координат (относительно поверхности Земли) ,

$T_{лок}$ = 90 мин, не сильно отличаются друг от друга.

Так как радиус орбиты кругового спутника Земли может быть произвольным, то и величина первой космической скорости кругового спутника должна изменяться по определённому закону.

Проанализируем с позиции теории Ньютона, как должна изменяться величина первой космической скорости при изменении радиуса орбиты:

$$V = \sqrt{gR} = \sqrt{\frac{GM_З}{R}}, \qquad (4)$$

G - гравитационная постоянная;

Мз - гравитационная масса Земли.

При радиусе орбиты спутника равному радиусу Земли ($R_{орб} = R_з$) первая космическая скорость в "абсолютном пространстве" (но не относительно поверхности Земли) принимает значение

V = 7,9 м/с2.

При увеличении радиуса орбиты искусственного спутника его орбитальная скорость в соответствии с уравнением (4) должна уменьшаться. На орбите с бесконечно большим радиусом его орбитальная скорость в "абсолютном пространстве" должна равняться нулю V = 0.

В действительности с помощью уравнения (4) невозможно правильно провести оценку движения небесных тел (естественных и искусственных) в пространстве, так как оно:

1. Не учитывает различие между инертной и гравитационной массами.

2. Описывает движение тел в несуществующем "абсолютном пространстве".

Чтобы правильно оценить движение небесных тел, мы должны учесть различие между инертной и гравитационной массами и верно определить локальную (неподвижную) систему координат.

Когда искусственный спутник обращается (как мы ошибочно считаем) вокруг Земли в "абсолютном пространстве", то в действительности он одновременно обращается и в гравитационном поле Земли, и в гравитационном поле Солнца.

Помимо сил притяения к Земле и Солнцу, на спутник будут действовать инерционные силы, возникающие при его обращении одновременно в поле Солнца $F_{цб.с}$ и в поле Земли $F_{цб.з}$.

$F_{цб.з}$ - центробежная сила, возникающая при обращении спутника в гравитационном поле Земли;

$F_{цб.с}$ - центробежная сила, возникающая при обращении спутника в гравитационном поле Солнца.

Результирующая центробежная сила $F_{\text{цб.р}}$, действующая на спутник, должна суммироваться из этих двух составляющих:

$$F_{\text{цб.р}} = F_{\text{цб.з}} + F_{\text{цб.с}}$$

Вблизи поверхности Земли напряжённость её гравитационного поля существенно превышает напряжённость гравитационного поля Солнца. Поэтому значение инертной массы спутника в поле Земли будет существенно больше значения инертной массы этого же спутника в гравитационном поле Солнца. Радиус обращения спутника в поле Земли и в поле Солнца одинаковый и незначительно превысит радиус Земли $R_{\text{з}}$.

Угловые скорости обращения спутника в полях Солнца и Земли почти равны

$\omega_{\text{лол.с}} \sim \omega_{\text{лол.з}}$. И, как следствие, величина составляющей центробежной силы, возникающей при обращении спутника в поле Земли, будет существенно больше составляющей центробежной силы, возникающей при данном обращении спутника в поле Солнца:

$$F_{\text{цб.з}} = m_{\text{ин.сп.з}} \times \omega^2_{\text{лок.з}} \times R_{\text{орб}} \quad (5)$$

$$F_{\text{цб.с}} = m_{\text{ин.сп.с}} \times \omega^2_{\text{лок.с}} \times R_{\text{орб}} \quad (6)$$

$\omega_{\text{лол.з}}$ - угловая скорость движения спутника по орбите вокруг Земли в её гравитационном поле;

$\omega_{\text{лол.с}}$ - угловая скорость движения спутника вокруг Земли в гравитационном поле Солнца;

$m_{\text{ин.сп.з}}$ - инертная масса спутника в гравитационном поле Земли;

$m_{\text{ин.сп.с}}$ - инертная масса того же спутника в гравитационном поле Солнца.

При $R_{\text{орб}} = R_{\text{з}}$

$F_{\text{цб.з}} >> F_{\text{цб.с}}$ и поэтому $F_{\text{цб.р}} = F_{\text{цб.з}} + F_{\text{цб.с}} \sim F_{\text{цб.з}}$

Поэтому, движение искусственных спутников Земли на орбитах, радиус которых незначительно превышает $R_{\text{з}}$, можно оценивать в координатной системе жёстко зафиксированной относительно её поверхности.

При выводе формулы (4) значения инертной и гравитационной масс искусственного спутника предполагались равными и поэтому они взаимно сократились.

Если допустить, что при движении искусственного спутника Земли нет влияния гравитационного поля Солнца, Луны и других небесных тел, и учесть различие между инертной и гравитационной массами спутников, то выражение для определения первой космической скорости с произвольным радиусом орбиты в локальной системе координат (относительно поверхности Земли) должно выглядеть так:

$$v = \sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}} \times \sqrt{gR_{\text{орб}}} \quad (7)$$

Если $R_{\text{орб}} = R_{\text{з}}$ то выражение $\sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}} = 1$ и уравнение (7) будет выглядеть в точности как выражение (4).

При увеличении $R_{\text{орб}}$ искусственного спутника Земли его инертная масса $m_{\text{ин.сп.з}}$ будет уменьшаться в зависимости от изменения величины напряжённости гравитационного поля Земли. При $R_{\text{орб}}$ значительно большем радиуса орбиты Земли $R_{\text{з}}$, определить первую космическую скорость по формуле (4) будет невозможно, так как множитель

$$\sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}} \neq 1$$

не будет равен единице и будет изменять своё численное значение в зависимости от изменения величины напряжённости гравитационного поля Земли.

Орбитальную и угловую скорости движения искусственных спутников Земли по круговым орбитам, если отвлечься от присутствия гравитационного поля Солнца, нужно определять в локальной системе координат (жёстко связанной с поверхностью Земли) по формулам:

$$v_{\text{орб}} = \sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}} \times \sqrt{G\frac{M_{\text{з}}}{R_{\text{орб}}}} \quad (8)$$

$$\omega_{\text{лок}} = \sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}} \times \sqrt{G\frac{M_{\text{з}}}{R^3_{\text{орб}}}} \quad (9)$$

Данные уравнения учитывают изменение инертной массы спутника в зависимости от изменения величины внешнего гравитационного поля Земли.

При увеличении радиуса орбиты кругового спутника Земли $R_{\text{орб}}$ численное значение множителя

$$\sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}}$$

будет увеличиваться, а значение множителя

$$\sqrt{G\frac{M_{\text{з}}}{R^3_{\text{орб}}}}$$

в уравнении (9) будет уменьшаться.

Наличие множителя $\sqrt{\frac{m_{\text{гр.сп.}}}{m_{\text{ин.сп.}}}}$

в уравнениях (8) и (9) говорит о том, что орбитальная и угловая скорости движения искусственных спутников по орбитам с разными радиусами будут изменяться не в соответствии с уравнением (4).

Уравнения (8) и (9) для определения орбитальной и угловой скоростей движения искусственного спутника справедливы в том случае, если данное движение рассматривалось в гравитационном поле Земли, предполагая, что гравитационного поля Солнца нет вообще.

В действительности искусственные спутники Земли совершают движение по круговым орбитам не только в гравитационном поле Земли, но и в гравитационном поле Солнца.

На искусственный спутник, совершающий движение по орбите вокруг Земли, будут действовать следующие силы:

1. Сила притяжения между Землёй и спутником

$$F_{\text{пр}} = G\frac{m_{\text{гр.сп.}}M_{\text{гр.з}}}{R_{\text{орб}}^2}. \quad (10)$$

2. Центробежная сила, возникающая при обращении спутника по орбите вокруг Земли в её же гравитационном поле

$$F_{\text{цб.з}} = m_{\text{ин.сп.з}} \times \omega_{\text{лок.з}}^2 \times R_{\text{орб}} \quad (11)$$

3. Центробежная сила, возникающая при обращении спутника по этой же орбите вокруг Земли, но в гравитационном поле Солнца

$$F_{\text{цб.с}} = m_{\text{ин.сп.с}} \times \omega_{\text{лок.с}}^2 \times R_{\text{орб}} \quad (12)$$

Получается, что спутник удерживается на круговой орбите потому, что гравитационная сила притяжения между спутником и Землёй уравновешивается суммарной центробежной силой, действующей на искусственный спутник, которая состоит из двух слагаемых

$$F_{\text{цб.р}} = F_{\text{цб.сп.з}} + F_{\text{цб.сп.с}}$$

$F_{\text{цб.сп.з}}$ - центробежная сила, действующая на спутник, возникающая при его обращении вокруг Земли в гравитационном поле Земли;

$F_{\text{цб.сп.с}}$ - центробежная сила, действующая спутник, возникающая при обращении его в гравитационном поле Солнца.

При увеличении радиуса орбиты кругового спутника Земли $R_{\text{орб}}$ напряжённость гравитационного поля Земли будет убывать. Соответственно будет уменьшаться значение инертной массы спутника в гравитационном поле Земли. Будет уменьшаться сила притяжения между спутником и Землёй. Будет уменьшаться значение центробежной силы, действующей на спутник, возникающей от влияния гравитационного поля Земли, так как величина инертной массы спутника убывает быстрее, чем увеличивается радиус его орбиты.

При радиусе несколько десятков тысяч километров от центра масс Земли гравитацию Солнца можно считать постоянной. Тогда как гравитация Земли в этом радиусе заметно изменяется.

На поверхности Земли $g_{\text{з}}$ = 9,8 м/с2. При $R_{\text{орб}}$ = 260 тыс. км $g_{\text{з}} \sim g_{\text{с}} \sim$ 0,59 см/с2. Напряжённость гравитационного поля Солнца в радиусе 260 тыс. км от центра масс Земли почти не изменяется.

Поэтому, при увеличении радиуса круговой орбиты искусственного спутника в этих пределах, его инертная масса в гравитационном поле Солнца не будет заметно изменяться. А инертная масса этого же спутника в гравитационном поле Земли будет заметно изменяться в этом же радиусе.

При $R_{\text{орб}} > R_{\text{з}}$ значения составляющих центробежных сил от влияния гравитационных полей Солнца и Земли могут оказаться соизмеримыми по величине. А приближаясь к радиусу орбиты геостационарного спутника солнечная составляющая центробежной силы будет существенно больше земной составляющей центробежной силы, которая на геостационарной орбите будет равна нулю, так как обращение спутника на этой орбите в гравитационном поле Земли нет.

Уравнение движения кругового спутника по орбите в общем виде выглядит так:

$$G\frac{m_{\text{гр.сп.}}M_{\text{гр.з}}}{R_{\text{орб}}^2} = F_{\text{цб.сп.з}} + F_{\text{цб.сп.с}} \quad (13)$$

$F_{\text{цб.сп.з}}$ - центробежная сила, действующая на спутник, возникающая при его обращении вокруг Земли в гравитационном поле Земли;

$F_{\text{цб.сп.с}}$ - центробежная сила, действующая спутник, возникающая при обращении его в гравитационном поле Солнца.

С помощью уравнения (13) интересно проанализировать характер движения геостационарного спутника. Ведь геостационарный спутник в поле Земли не обращается. А центробежные силы возникают только при перемещении тел во внешнем гравитационном поле. Возникает вопрос: почему геостационарный спутник не падает на Землю, при этом зависает над конкретной точкой её поверхности?

Так как значение угловой скорости движения геостационарного спутника в гравитационном поле Земли равно нулю $\omega_{\text{лол.з}}$ = 0, то и центробежная сила от влияния гравитационного поля Земли равна нулю $F_{\text{цб.сп.з}}$ = 0, несмотря на то, что геостационарный спутник обладает определенным значением инертной массы $m_{\text{ин.сп.з}}$ в её гравитационном поле.

Следуя положению Ю.А.Фомина, движение геостационарного спутника нужно рассматривать относительно результирующего гравитационного поля (вектора). Обращения геостационарного спутника относительно поверхности Земли нет. Но он при этом обращается в гравитационном поле Солнца.

Земля и геостационарный спутник не падают друг на друга потому, что сила их взаимного притяжения уравновешивается центробежной силой инерции, возникающей при их совместном обращении вокруг общего центра масс во внешнем гравитационном поле Солнца.

Получается, что пара тел "Земля - геостационарный спутник" представляют собой двойную планету, одна из которых (спутник) - искусственная.

Геостационарный спутник не может являться спутником Земли, так как он в её поле не обращается. Геостационарный спутник и Земля обращаются вокруг их общего центра масс во внешнем гравитационном поле Солнца, и поэтому "геостационарный спутник" можно назвать искусственной планетой.

Если бы не было гравитационного поля Солнца, то существование геостационарного спутника было бы невозможным, Интересно выглядит оценка движения пары тел "Земля - Луна" с позиции положения, сформулированного Ю.А. Фоминым.

Литература

1. Беркли Дж. Сочинения. Москва. Мысль. 1978.

2. Полемика Г. Лейбница и С. Кларка по вопросам философии и естествознания (1715-1716 гг.) Л. ЛГУ. 1960г.

3. Мах Э. Механика, 1883.

4. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М. Наука 1989г.

5. Фомин Ю. А. Познание тайны. Издание Научного учебно-оздоровительного Центра "ПРОИС". Москва, 1995.

6. Фомин Ю. А. Возможен ли полёт человека на Марс. Москва, 1999.

7. Этвеш. Опыт по определению инертной и гравитационной масс. Журнал "Математические и естественные науки", 1909.

8. Галилео Галилей. Диалог о двух главнейших системах мира Птоломеевой и Коперниковой. М. Госиздат Технико-теоретической литературы 1948г.

9. Соломонов М. С. Новая модель небесной механики. Издательство ЛКИ. Москва, 2007.

TECHNICAL SCIENCES

INTEGRATION OF BIOGAS INTO SMART ENERGY GRIDS: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Aliyeva O.O.
PhD, Azerbaijan State Oil and Industry University, Scientific Research Institute of Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry, 227, Dilara Aliyeva, Baku, AZ1010, Azerbaijan
DOI: 10.5281/zenodo.21472415

ИНТЕГРАЦИЯ БИОГАЗА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СЕТИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Алиева О.О.
к.т.н., Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, НИИ "Геотехнологические Проблемы Нефти, Газа и Химия, г. Баку. Азербайджан

Abstract
The article examines the scientific and technological foundations and promising directions for integrating biogas complexes into intelligent energy networks (Smart Grids). Under conditions of the stochastic nature of electricity generation from most renewable energy sources, such as solar and wind power, the role of biogas is substantiated as a controllable, flexible, and dispatchable resource capable of smoothing peak loads in power systems.

Аннотация
В статье рассматриваются научно-технологические основы и перспективные направления интеграции биогазовых комплексов в интеллектуальные сети (Smart Grids). В условиях стохастического характера генерации большинства возобновляемых источников энергии (солнце, ветер) обоснована роль биогаза как управляемого, гибкого и диспетчеризируемого ресурса, способного сглаживать пиковые нагрузки в энергосистеме.

Keywords: Biogas, intelligent energy networks, Smart Grids, cogeneration (CHP), Power-to-Gas (P2G), decarbonization, renewable energy sources (RES).
Ключевые слова: Биогаз, интеллектуальные энергетические сети, Smart Grids, когенерация (КГУ), Power-to-Gas (P2G), декарбонизация, возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Современный этап развития энергетики характеризуется переходом к устойчивым и экологически безопасным источникам энергии, что обусловлено необходимостью снижения выбросов парниковых газов, рационального использования природных ресурсов и повышения энергетической безопасности. В этих условиях особую значимость приобретают возобновляемые источники энергии, среди которых биогаз занимает важное место благодаря своей способности не только генерировать энергию, но и решать проблему утилизации органических отходов. Одновременно с этим активно развивается концепция интеллектуальных энергетических сетей, предполагающая внедрение цифровых технологий, автоматизированных систем управления и двустороннего обмена данными между производителями и потребителями энергии. Интеграция биогазовых технологий в интеллектуальные сети рассматривается как одно из ключевых направлений формирования устойчивых и гибких энергетических систем будущего [1].

Биогаз представляет собой продукт анаэробного сбраживания органических веществ, включая сельскохозяйственные отходы, бытовые и промышленные органические фракции. Основными компонентами биогаза являются метан и углекислый газ, при этом содержание метана определяет его энергетическую ценность. Существенным преимуществом биогаза является возможность управляемой генерации энергии, что выгодно отличает его от таких возобновляемых источников, как солнечная и ветровая энергия, зависящих от погодных условий. Биогаз может использоваться для производства электрической и тепловой энергии в когенерационных установках, а также подвергаться глубокой очистке с целью получения биометана, пригодного для подачи в газораспределительные сети или использования в качестве моторного топлива. Это делает его универсальным энергетическим ресурсом, способным интегрироваться в различные сегменты энергетической инфраструктуры.

Биогаз, получаемый в результате анаэробного сбраживания органических отходов, преимущественно состоит из метана (CH_4, 50-70%) и углекислого газа (CO_2, 30-50%). Архитектура системы, связывающая биогазовую станцию, интеллектуальную систему управления и общую энергосеть, представлена на рисунке 1.

Рис.1. Архитектура интеграции биогазового комплекса в систему Smart Grid

Для эффективной интеграции в Smart Grids используются три основные технологические концепции [2]

1. Когенерация (КГУ): Одновременное производство электрической и тепловой энергии. Управляемые КГУ могут изменять свою мощность по команде из диспетчерского центра сети.

2. Обогащение биогаза: Удаление CO_2 и примесей для получения биометана (аналога природного газа), который закачивается в общую газораспределительную сеть [3]

3. Концепция Power-to-Gas (P2G): Использование избыточной электроэнергии от ВИЭ для электролиза воды с получением водорода (H_2), который затем вступает в реакцию метанирования с CO_2 из биогаза:

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Это позволяет утилизировать углекислый газ и кратно увеличить объемы производимого метана [4].

Интеллектуальные энергетические сети представляют собой модернизированную форму энергосистем, в которых применяются цифровые технологии мониторинга и управления, интеллектуальные счетчики, системы накопления энергии и коммуникационные платформы.

Основной целью Smart Grid является обеспечение надежного, эффективного и устойчивого энергоснабжения за счет оптимизации процессов генерации, передачи и потребления энергии. В рамках таких систем особое значение приобретает интеграция распределенной генерации, к которой относятся и биогазовые установки. Размещение биогазовых установок вблизи источников сырья способствует снижению потерь при передаче энергии, повышению энергоэффективности и развитию локальных энергетических кластеров.

Технологическая интеграция биогаза в интеллектуальные сети включает несколько ключевых направлений. Одним из них является апгрейд биогаза до биометана путем удаления примесей, таких как углекислый газ, сероводород и водяной пар. Для этого применяются современные методы очистки, включая мембранную сепарацию, адсорбцию при переменном давлении, водную абсорбцию и химические процессы. Полученный биометан соответствует требованиям газовых сетей и может быть непосредственно интегрирован в существующую инфраструктуру. Другим важным аспектом является использование биогазовых установок в системах распределенной генерации, где они функционируют как локальные источники энергии, обеспечивая гибкость и устойчивость энергосистемы. Дополнительные возможности открывает интеграция с системами хранения энергии, такими как аккумуляторные батареи и тепловые накопители, что позволяет сглаживать колебания нагрузки и обеспечивать баланс между производством и потреблением энергии.

Значительную роль в интеграции биогаза в интеллектуальные сети играет цифровизация и автоматизация процессов управления. Использование интеллектуальных систем позволяет осуществлять прогнозирование выработки биогаза на основе анализа данных, оптимизировать режимы работы установок, управлять нагрузкой в режиме реального времени и обеспечивать эффективное взаимодействие между различными элементами энергосистемы. В результате достигается более высокий уровень надежности и эффективности функционирования энергетической инфраструктуры.

Таблица 1

Функциональная роль биогазовых установок в структуре Smart Grid

Функция в Smart Grid	Технологическая реализация	Системный эффект
Балансировка пиковых нагрузок	Накопление биогаза в газгольдерах и запуск КГУ в часы пик.	Снижение потребности в ископаемом пиковом топливе (мазут, газ).
Участие в виртуальных электростанциях (VPP)	Объединение множества биогазовых установок через IoT-платформы [1].	Формирование крупного агрегированного узла мощности на рынке электроэнергии.
Регулирование частоты и напряжения	Использование инверторных систем КГУ.	Стабилизация локальных параметров распределительной сети.
Длительное хранение энергии	Преобразование биогаза в биометан и закачка в ГТС [2].	Сезонное аккумулирование энергии, недоступное для Li-ion аккумуляторов [4].

Интеграция биогаза в Smart Grid обладает рядом существенных преимуществ. С экологической точки зрения она способствует снижению выбросов парниковых газов, уменьшению загрязнения окружающей среды и эффективной утилизации отходов. Экономические преимущества проявляются в снижении зависимости от ископаемых видов топлива, развитии локальной экономики и создании новых рабочих мест. С энергетической точки зрения использование биогаза повышает надежность энергоснабжения, обеспечивает возможность регулирования генерации и способствует более глубокой интеграции различных возобновляемых источников энергии.

В то же время внедрение биогазовых технологий в интеллектуальные сети сопряжено с рядом проблем и ограничений. К ним относятся высокая стоимость оборудования и внедрения, необходимость развития инфраструктуры, сложность технологических процессов очистки биогаза, а также наличие нормативно-правовых барьеров. Дополнительным фактором является недостаточный уровень инвестиций и государственной поддержки, что замедляет широкое распространение данных технологий.

Несмотря на существующие трудности, перспективы интеграции биогаза в интеллектуальные энергетические сети остаются весьма значительными. Развитие технологий глубокой очистки биогаза, внедрение цифровых платформ управления энергосистемами, а также интеграция с новыми энергетическими направлениями, такими как водородная энергетика и технологии Power-to-Gas, открывают новые возможности для повышения эффективности и устойчивости энергетических систем. Важным направлением является также расширение использования биометана в транспортном секторе и создание энергоавтономных территорий, функционирующих на основе локальных возобновляемых ресурсов.

Таким образом, интеграция биогаза в интеллектуальные энергетические сети представляет собой перспективное направление развития современной энергетики, способствующее формированию устойчивых, гибких и экологически безопасных энергосистем. Дальнейшее совершенствование технологий, развитие нормативной базы и усиление государственной поддержки будут играть ключевую роль в расширении масштабов применения биогаза и его эффективной интеграции в структуры Smart Grid.

Формирование научно-экспериментальной базы для исследования биогазовых систем является ключевым этапом развития биоэнергетики как направления возобновляемой энергетики. Эффективное изучение процессов получения, очистки и использования биогаза требует комплексного подхода, включающего разработку лабораторной инфраструктуры, выбор методов исследования, обеспечение точности измерений и создание условий для моделирования реальных эксплуатационных режимов. Методология построения такой базы должна учитывать междисциплинарный характер биогазовых технологий, объединяющих биохимию, теплоэнергетику, экологию и автоматизацию.

Первым этапом является определение целей и задач исследования. Научно-экспериментальная база должна быть ориентирована на решение конкретных проблем, таких как повышение выхода биогаза, оптимизация параметров анаэробного сбраживания, исследование новых видов сырья, разработка методов очистки газа и интеграция биогазовых установок в энергетические системы. Четкое формулирование целей позволяет определить необходимый состав оборудования, методы измерений и структуру экспериментальных установок. Основу экспериментальной базы составляют биореакторы (метантенки), в которых осуществляется процесс анаэробного сбраживания. В зависимости от задач исследования используются лабораторные, пилотные или полупромышленные установки. Лабораторные реакторы объемом от нескольких литров до десятков литров применяются для изучения кинетики процессов и влияния отдельных факторов. Пилотные установки позволяют моделировать реальные условия эксплуатации и оценивать масштабируемость технологий. Конструктивно реакторы должны обеспечивать герметичность, возможность перемешивания,

поддержание заданного температурного режима и отбор проб.

Ключевым элементом методологии является обеспечение контроля параметров процесса. Для этого в экспериментальной базе используются датчики температуры, pH, давления, уровня газа, состава газовой смеси и концентрации органических веществ. Современные системы измерений позволяют осуществлять непрерывный мониторинг процессов в реальном времени. Особое значение имеет анализ состава биогаза, включая определение содержания метана, углекислого газа и примесей, таких как сероводород. Для этого применяются газоанализаторы, хроматографические методы и спектроскопия.

Методика проведения экспериментов должна предусматривать варьирование ключевых параметров процесса, включая температуру (мезофильный или термофильный режим), время гидравлического удержания, соотношение компонентов субстрата и уровень загрузки реактора. Планирование экспериментов осуществляется с использованием методов математического моделирования и статистического анализа, что позволяет выявлять оптимальные условия и устанавливать закономерности протекания процессов. Применение факторного анализа и методов оптимизации повышает достоверность получаемых результатов.

Важным компонентом научно-экспериментальной базы является система подготовки и подачи сырья. Она включает измельчение, гомогенизацию и дозирование субстрата, а также контроль его физико-химических характеристик. Для обеспечения воспроизводимости результатов необходимо стандартизировать состав сырья или учитывать его вариативность в экспериментальных моделях. Использование различных видов органических отходов позволяет оценить их потенциал для производства биогаза и определить наиболее эффективные комбинации.

Отдельное внимание уделяется системам очистки и подготовки биогаза. В рамках экспериментальной базы должны быть предусмотрены установки для удаления сероводорода, влаги и углекислого газа. Это позволяет исследовать эффективность различных методов очистки, включая адсорбцию, абсорбцию и мембранные технологии. Анализ качества очищенного газа необходим для оценки его пригодности к использованию в энергетических установках или для подачи в газовые сети.

Интеграция цифровых технологий является неотъемлемой частью современной методологии. Использование автоматизированных систем управления, программного обеспечения для сбора и обработки данных, а также технологий интернета вещей позволяет повысить точность экспериментов и упростить их проведение. Применение алгоритмов машинного обучения открывает возможности для прогнозирования поведения системы и оптимизации режимов работы. Создание цифровых двойников биогазовых установок позволяет моделировать различные сценарии и снижать затраты на проведение физических экспериментов.

Методология должна также включать оценку энергетической и экологической эффективности биогазовых систем. Для этого рассчитываются показатели выхода биогаза, энергетической эффективности, коэффициента полезного действия, а также уровень снижения выбросов парниковых газов. Анализ жизненного цикла (LCA) позволяет оценить экологическое воздействие технологии на всех этапах — от сбора сырья до утилизации продуктов.

Неотъемлемой частью научно-экспериментальной базы является обеспечение безопасности. Работа с биогазом требует соблюдения строгих мер предосторожности, связанных с его взрывоопасностью и токсичностью отдельных компонентов. Экспериментальные установки должны быть оснащены системами вентиляции, контроля утечек газа и аварийного отключения. Персонал должен проходить соответствующую подготовку и соблюдать регламенты безопасности.

Организационные аспекты включают формирование научной команды, разработку протоколов экспериментов и обеспечение качества данных. Важно обеспечить воспроизводимость результатов, что достигается путем стандартизации методик и документирования всех этапов исследований. Сотрудничество с промышленными предприятиями и научными организациями позволяет расширить возможности экспериментальной базы и повысить практическую значимость исследований.

Перспективы развития научно-экспериментальных баз связаны с переходом к модульным и гибким установкам, способным адаптироваться к различным задачам исследования. Развитие междисциплинарных подходов, интеграция с интеллектуальными энергетическими системами и использование цифровых технологий будут способствовать более глубокому пониманию процессов и ускорению внедрения биогазовых технологий в практику.

Таким образом, методология создания научно-экспериментальной базы для исследования биогазовых систем представляет собой комплексный подход, объединяющий технические, научные и организационные аспекты. Ее реализация обеспечивает получение достоверных данных, необходимых для развития эффективных и устойчивых биогазовых технологий, способных занять важное место в структуре современной энергетики.

Литература

1. Kundu, S., et al. (2024). Smart Biogas Systems in the Framework of Industry 4.0: A Review on Automation and Control. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 189, 113-125.

2. Макаров, А. А., Митрова, Т. А. (2023). Перспективы интеграции возобновляемых газов в энергетические системы. Энергетическая политика, 4(182), 12–25.

3. European Biogas Association (EBA). (2025). Statistical Report 2025: European Overview on Biomethane and Biogas Production. Brussels.

4. Bose, A., et al. (2026). Power-to-Gas: Biomethanation as a key technology for seasonal energy storage in Smart Grids. Applied Energy, 355, 122-134.

STATISTICAL ANALYSIS OF PROSUMERS CONNECTED TO THE LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK IN THE BANAT REGION, ROMANIA

Amariei Olga-Ioana
Lecturer Ph.D.
Babeș-Bolyai University of Cluj-Napoca, Faculty of Engineering
Square Traian Vuia, no.1-4, 320085, Reșița, Romania
Hamat Codruța-Oana
Corresponding Author,
Professor Ph.D.
Babeș-Bolyai University of Cluj-Napoca, Faculty of Engineering, Romania
Georgevici Gabriela-Felicia
Lecturer Ph.D.
Babeș-Bolyai University of Cluj-Napoca, Faculty of Sociology and Social Work, Romania
Chicheș Marian
Master's student
Babeș-Bolyai University of Cluj-Napoca, Faculty of Engineering, Romania
DOI: 10.5281/zenodo.21472485

Abstract

This paper presents a statistical analysis of prosumers connected to the low-voltage distribution network in the Banat region of Romania, based on an initial dataset comprising 21,457 records collected between 2019 and 2024. After removing incomplete or inconsistent records, the analysis was performed on a final sample of 21,426 observations. The methodology employed includes descriptive statistics, correlation analysis, simple and multiple linear regression models, as well as forecasting techniques based on simple and weighted moving averages. The results revealed a very strong correlation between installed capacity and exported power, confirming the relevance of these indicators for assessing the performance of photovoltaic systems. The multiple linear regression model, with exported power as the dependent variable and installed capacity, approved power, and active energy consumption as independent variables, achieved a high coefficient of determination (R^2=0.953). The application of simple and weighted moving average methods enabled the identification of consumption and energy production trends over the analyzed period. Furthermore, the comparison of forecasting errors demonstrated that multiple linear regression provides the highest accuracy in estimating actual values, outperforming moving-average-based forecasting methods. The findings contribute to a better understanding of prosumer behavior within low-voltage distribution networks and may support the analysis, planning, and operation of regional energy systems.

Keywords: prosumers, simple linear regression, multiple linear regression, moving average, energy forecasting, photovoltaic systems.

1. Introduction

In recent years, the growing number of prosumers connected to low-voltage distribution networks has become a significant challenge for electricity distribution system operators due to its impact on network stability and operation. In the Banat region of Romania, this trend has been driven by the rapid deployment of photovoltaic systems and the implementation of public policies supporting renewable energy development.

According to reports published by the Romanian Energy Regulatory Authority (ANRE), the number of prosumers in Romania has increased considerably in recent years as a result of the expansion of renewable energy generation capacities and improved access to distribution networks [1, 2]. This development highlights the need for a comprehensive analysis of the consumption and production behavior of prosumers connected to low-voltage networks.

The present study aims to evaluate the relationships between the main prosumer-related indicators, including installed capacity, approved power, active energy consumption, and exported power, using an extensive dataset collected from the Banat region. To achieve this objective, several classical statistical methods were applied, including simple linear regression, multiple linear regression, simple moving average, and weighted moving average techniques. The analysis seeks to identify significant trends, correlations, and potential limitations associated with current prosumer systems.

The dataset used in this study [3] comprises 21,457 records collected from the counties of Timiș, Arad, Caraș-Severin, and Hunedoara. Its size is comparable to the data reported by ANRE for the Rețele Electrice Banat distribution operator. According to the ANRE Annual Report 2024 [2], a total of 22,595 prosumers with an aggregated installed capacity of approximately 266.5 MW were registered within the operator's service area. This close numerical correspondence supports the relevance of the dataset analyzed in this paper.

2. Data and Methodology

The study uses a dataset derived from an internal operational database from the Banat region of Romania, comprising information on 21,426 prosumers connected to the low-voltage distribution network during the period 2019-2024. The dataset includes relevant variables such as installed capacity, approved

power, i.e., the approved connection capacity, exported power, active energy produced (AEP), and active energy consumed (AEC), as well as information regarding the network type and meter installation type.

To analyze prosumer behavior, descriptive statistical methods, correlation analysis, simple and multiple linear regression models, as well as forecasting techniques based on simple and weighted moving averages were applied. The removal of incomplete records ensured the reliability and accuracy of the analysis.

This approach enables the investigation of relationships among the key indicators of photovoltaic systems and the identification of consumption and production trends among prosumers, providing a solid basis for the interpretation of the results and the formulation of practical recommendations.

3. Statistical Analysis of the Collected Data

In order to gain a deeper understanding of prosumer behavior in the Banat region, a statistical analysis was performed on the main indicators, namely approved power, installed capacity, exported power, and active energy consumption. Following the removal of incomplete records, the final dataset consisted of 21,426 observations (Fig. 1).

COUNTY	LOCALITY	POD	PROSUMER TYPE	PHASE_TYPE	CONSTANTA	INSTALLATION TYPE	CUSTOMER CATEGORY	APPROVED POWER	EXPORTED POWER	INSTALLED CAPACITY	VOLTAGE LEVEL	CONSUMER TYPE	AEC	AEP	IRE	CRE	START DATE PROS
ARAD	VLADIMIRESCU	RO005E522079503	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	SMALL CONSUMER	30	29,3	30,6	MT	BUSINESS	521912,643	40329,907	123965,61	19426,889	24.10.2022
ARAD	SAGU	RO005E522422741	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	SMALL CONSUMER	25	26,459	27	JT	BUSINESS	445668	40680	152043	22635	12.03.2021
ARAD	CHISINEU-CRIS	RO005E521661543	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	12	7,835	10,25	JT	RESIDENTIAL	21745	17810			09.05.2023
ARAD	IRATOSU	RO005E522430010	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	4,89	5,5	JT	RESIDENTIAL	9735	6898			13.09.2023
ARAD	LIPOVA	RO005E520826398	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	12	7,654	7,82	JT	RESIDENTIAL	16205	14764			02.03.2023
ARAD	BIRCHIS	RO005E521904431	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	6	4,801	4,875	JT	RESIDENTIAL	9438	14232			10.09.2021
ARAD	TISA NOUA	RO005E522428152	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	10	5,78	7,2	JT	RESIDENTIAL	36801	11808			16.02.2022
ARAD	ARAD	RO005E520585840	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	4,8	5,32	JT	RESIDENTIAL	2512	4			14.06.2022
ARAD	ANDREI SAGUNA	RO005E521961849	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	4,899	5,04	JT	RESIDENTIAL	6419	2552			04.07.2024
ARAD	ARAD	RO005E520587718	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	6	5,87	7	JT	RESIDENTIAL	11499	18628			16.09.2022
ARAD	VLADIMIRESCU	RO005E520869171	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	8	9,7	10,8	JT	RESIDENTIAL	11657	22412			07.09.2022
ARAD	ADEA	RO005E521319453	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	SMALL CONSUMER	13	5,879	6,08	JT	BUSINESS	19524	7708	15492	6098	05.07.2022
ARAD	ARAD	RO005E522516554	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	SMALL CONSUMER	29	23,049	23,52	JT	BUSINESS	23817	10585	5704	3849	17.01.2024
ARAD	ARAD	RO005E521276758	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	6,6	4,8	6	JT	RESIDENTIAL	9094	11536			13.10.2022
ARAD	CINTEI	RO005E521957260	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	2,93	3,465	JT	RESIDENTIAL	5557	2848			19.06.2023
ARAD	ARAD	RO005E520528689	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	5,78	6,44	JT	RESIDENTIAL	6982	10332			02.02.2023
ARAD	LIVADA	RO005E522277110	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	4	2,939	3,24	JT	RESIDENTIAL	3746	6194			16.03.2023
ARAD	CUVIN	RO005E521584255	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	3,91	4,545	JT	RESIDENTIAL	4461	4234			14.07.2023
ARAD	ARAD	RO005E520305413	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	18	9,7	10,08	JT	RESIDENTIAL	899	708			30.09.2024
ARAD	ARAD	RO005E520201586	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	3,134	3,32	JT	RESIDENTIAL	274	1093			12.09.2024
ARAD	LIVADA	RO005E521504291	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	18	9,79	11,4	JT	RESIDENTIAL	1748	9984			01.07.2024
ARAD	LIVADA	RO005E521504662	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	10	9,799	10,53	JT	RESIDENTIAL	1803	6424			19.06.2024
ARAD	BUTENI	RO005E521234527	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	2,93	3,325	JT	RESIDENTIAL	1447	76			05.11.2024
ARAD	CONOP	RO005E522105110	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	10	5,879	6,48	JT	RESIDENTIAL	839	535			28.10.2024
ARAD	VLADIMIRESCU	RO005E520858270	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	5	5	5,52	JT	RESIDENTIAL	68609	23866			01.01.2020
ARAD	LIPOVA	RO005E520823160	PRODUCER	SINGLE-PHASE	1	MD	CAS	6	4,899	6,6	JT	RESIDENTIAL	79418	125			27.11.2024
ARAD	ARAD	RO005E522273149	PRODUCER	THREE-PHASE	1	TD	CAS	10	4,897	5,005	JT	RESIDENTIAL	26785	4892			09.09.2024

Fig. 1. Sample of the Dataset Used in the Statistical Analysis - Prosumers from the Banat Region

3.1. Descriptive Statistics

Descriptive statistics are essential for obtaining an initial understanding of the dataset by calculating measures of central tendency, dispersion, and distribution characteristics. These statistics help describe the main features of the data and facilitate the identification of potential anomalies or trends. They were calculated for the main variables, namely approved power, installed capacity, exported power, and active energy consumption (AEC) (Fig. 2). The results reveal significant differences between the mean and median values, indicating asymmetric data distributions.

Descriptives

	APPROVED_POWER
N	21426
Mean	31.8
Std. error mean	9.14
Median	9.50
Mode	6.00
Sum	682320
Standard deviation	1338
Variance	1.79e+6
Range	195000
Minimum	0.00100
Maximum	195000
Skewness	144
Std. error skewness	0.0167
Kurtosis	21015
Std. error kurtosis	0.0335

Descriptives

	EXPORTED_POWER
N	21426
Mean	10.7
Std. error mean	0.200
Median	5.78
Mode	2.94
Sum	229687
Standard deviation	29.3
Variance	856
Range	401
Minimum	−9.04
Maximum	392
Skewness	9.39
Std. error skewness	0.0167
Kurtosis	101
Std. error kurtosis	0.0335

Descriptives

	INSTALLED_CAPACITY
N	21426
Mean	12.1
Std. error mean	0.239
Median	6.08
Mode	4.05
Sum	260249
Standard deviation	34.9
Variance	1220
Range	1081
Minimum	0.300
Maximum	1081
Skewness	10.8
Std. error skewness	0.0167
Kurtosis	157
Std. error kurtosis	0.0335

Descriptives

	AEC
N	21426
Mean	13681
Std. error mean	188
Median	6983
Mode	0.00
Sum	2.93e+8
Standard deviation	27585
Variance	7.61e+8
Range	835847
Minimum	0.00
Maximum	835847
Skewness	12.0
Std. error skewness	0.0167
Kurtosis	241
Std. error kurtosis	0.0335

Fig. 2. Descriptive Statistics of the Main Variables - Jamovi Output

For example, in the case of active energy consumption (AEC), the mean value is considerably higher than the median, suggesting that a relatively small number of prosumers with high installed capacities have a substantial influence on both the average and the variability of the dataset. This finding highlights the diversity of installation sizes within the analyzed sample and supports the use of weighted moving averages, which reduce the influence of extreme values. This characteristic is further confirmed by the high skewness coefficients, indicating positively skewed distributions. In addition, the large values of the standard deviation and variance reflect a high degree of data dispersion, resulting from the heterogeneity of the analyzed prosumers, ranging from small residential consumers to large-capacity photovoltaic installations.

The kurtosis analysis also indicates the presence of extreme values (outliers), typically associated with prosumers operating high-capacity systems, which significantly influence the overall distribution of the data.

These results confirm the heterogeneous nature of the analyzed sample and justify the application of regression techniques to investigate the relationships among the studied variables.

3.2. Correlation Analysis Between Variables

Correlation analysis was performed to evaluate the relationships among the main energy-related indicators of the analyzed prosumers. For this purpose, the Pearson correlation coefficient was calculated for the relevant variables included in the dataset (Table 1).

Table 1.

Pearson Correlation Coefficients

No.	Pearson Coefficient	Correlated Variables	Coefficient Value (r_i)	Interpretation
1	r_1	Exported Power - Installed Capacity	0.976	Very strong positive correlation
2	r_2	Approved Power - Exported Power	0.109	Very weak correlation
3	r_3	Installed Capacity - Active Energy Consumption (AEC)	0.009	No significant correlation
4	r_4	Approved Power - Active Energy Consumption (AEC)	0.004	No significant correlation

According to the results presented in Table 1, only one strong relationship can be observed, namely between Installed Capacity and Exported Power (r_1=0.976), which justifies the inclusion of these variables in the regression model (Section 3.3). The remaining correlations are very weak, suggesting that energy consumption and production are influenced by numerous external factors, such as consumer behavior, meteorological conditions, and photovoltaic system characteristics, rather than solely by the technical parameters of the installations.

Based on this analysis, the variables with significant predictive value were identified and selected for modeling and forecasting purposes, while variables with limited predictive relevance were excluded from further analysis.

3.3. Application of Linear Regression for Modeling Exported Power

In this section, a simple linear regression model is used to investigate the direct relationship between two key variables: Installed Capacity (X) and Exported Power (Y). The selection of this method is justified by the high Pearson correlation coefficient (r=0.976), which indicates a very strong linear relationship between the two variables.

Due to the observation limits imposed by the QM and WinQSB software packages, the regression analysis was performed in Microsoft Excel, allowing the processing of the entire dataset comprising 21,426 observations.

The results of the linear regression analysis are presented in Fig. 3.

Linear Regression

Model Fit Measures

Model	R	R^2
1	0.976	0.952

Note. Models estimated using sample size of N=21426

Omnibus ANOVA Test

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
INSTALLED_CAPACITY	1.75e+7	1	1.75e+7	429568	< .001
Residuals	871556	21424	40.7		

Note. Type 3 sum of squares

[3]

Model Coefficients - EXPORTED_POWER

			95% Confidence Interval					95% Confidence Interval	
Predictor	Estimate	SE	Lower	Upper	t	p	Stand. Estimate	Lower	Upper
Intercept	0.788	0.04613	0.698	0.878	17.1	< .001			
INSTALLED_CAPACITY	0.818	0.00125	0.815	0.820	655.4	< .001	0.976	0.973	0.979

Fig. 3. Simple Linear Regression Model

The simple linear regression equation obtained in this study is:

$$Y = 0.788 + 0.818X, \quad (1)$$

where Y represents Exported Power and X represents Installed Capacity.

The intercept (0.788) represents the estimated value of exported power when the installed capacity is equal to zero. Although this situation has limited practical significance, it reflects the baseline value estimated by the regression model.

The regression coefficient (0.818) indicates that, on average, each additional kilowatt of installed capacity is associated with an increase of approximately 0.818 kW in exported power. Since the coefficient is lower than 1, the result may reflect internal consumption, system losses, or operational constraints affecting the amount of power exported to the grid.

The coefficient of determination (R^2=0.952) indicates that approximately 95.2% of the variation in exported power is explained by the variation in installed capacity, confirming the strong explanatory power of the model. Furthermore, the significance level ($p<0.001$) demonstrates that the model is statistically significant, reinforcing the reliability of the obtained results.

Although the simple regression model does not account for other factors that may influence exported power, such as consumption patterns, equipment degradation, or meteorological conditions, it provides a solid basis for estimating the relationship between the two variables.

The results demonstrate that installed capacity is a robust predictor of exported power and may therefore be used by distribution system operators for rapid and efficient estimations.

To obtain a more comprehensive understanding of the factors influencing exported power, a multiple linear regression model was also developed. In this case, Exported Power was considered the dependent variable, while Installed Capacity, Approved Power, and Active Energy Consumption were used as independent variables (Fig. 4). This extension aims to capture not only the direct relationship between installed capacity and exported power, but also the influence of additional technical and consumption-related factors that may affect the actual energy delivered to the grid.

Linear Regression

Model Fit Measures

Model	R	R^2
1	0.976	0.953

Note. Models estimated using sample size of N=21426

Omnibus ANOVA Test

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
APPROVED_POWER	929	1	928.8	22.9	< .001
INSTALLED_CAPACITY	1.73e+7	1	1.73e+7	424705.3	< .001
AEC	423	1	423.1	10.4	0.001
Residuals	870210	21422	40.6		

Note. Type 3 sum of squares

[3]

Model Coefficients - EXPORTED_POWER

			95% Confidence Interval					95% Confidence Interval	
Predictor	Estimate	SE	Lower	Upper	t	p	Stand. Estimate	Lower	Upper
Intercept	0.721	0.05085	0.622	0.821	14.19	< .001			
APPROVED_POWER	1.56e−4	3.27e−5	9.23e−5	2.21e−4	4.78	< .001	0.00715	0.00422	0.01009
INSTALLED_CAPACITY	0.817	0.00125	0.815	0.819	651.69	< .001	0.97516	0.97223	0.97810
AEC	5.09e−6	1.58e−6	2.00e−6	8.19e−6	3.23	0.001	0.00480	0.00189	0.00772

Fig. 4. Results of the Multiple Linear Regression Analysis with Exported Power as the Dependent Variable

The results of the multiple linear regression analysis indicate a coefficient of determination of R^2=0.953, slightly higher than the value obtained for the simple linear regression model. This suggests that the inclusion of additional variables improves the explanatory power of the model.

All regression coefficients are statistically significant ($p<0.001$), confirming the relevance of the variables included in the analysis.

Installed Capacity remains the dominant predictor, exhibiting a positive and substantial coefficient, which indicates that an increase in installed capacity leads to a corresponding increase in exported power.

Although Approved Power shows only a weak correlation in the simple correlation analysis, it makes a significant contribution within the multiple regression model. This finding suggests that technical limitations and grid connection constraints may influence the amount of power exported to the network.

Active Energy Consumption also affects exported power, likely through an inverse relationship, reflecting the fact that a portion of the generated energy is

consumed locally rather than being injected into the grid.

The resulting model can be used for the rapid estimation of exported power based on installation parameters and may serve as a useful tool for analyzing prosumer behavior at the distribution network level.

The relatively small difference between the coefficients of determination of the simple and multiple regression models indicates that Installed Capacity is the primary factor influencing exported power. Nevertheless, the inclusion of additional variables provides a marginal improvement in predictive performance, which may become important in more complex operating conditions.

3.4. Application of Simple and Weighted Moving Averages

The analysis of consumption trends using moving average methods complements the regression models applied in the previous sections by providing short- and medium-term insights into variations in active energy consumption. While simple and multiple linear regression models describe the overall relationships between installation parameters and exported power, moving averages highlight the dynamic evolution of prosumer behavior, thereby facilitating better anticipation of changes and the adaptation of operational strategies within electricity networks. Thus, the combination of these methods provides a robust set of tools for the analysis and planning of regional energy systems.

The simple and weighted moving average methods, previously used in the study conducted by Chicheș [3], were applied in this paper to analyze the evolution trends of active energy consumption (AEC) among prosumers in the Banat region during the period 2019–2024.

The application of the simple moving average to the AEC indicator provided an estimate of consumption values by reducing short-term fluctuations and highlighting general trends. The weighted moving average gave greater importance to recent observations by assigning higher weights to values from the latter part of the series, which enabled a more sensitive identification of recent changes in consumption behavior.

Compared with the weighted moving average, the simple moving average responds more slowly to rapid changes in the data series. Therefore, the weighted moving average is more suitable for monitoring recent developments and for short-term operational analyses.

The results obtained using both methods indicate a downward trend in average active energy consumption after 2022. This evolution may be associated with improvements in the energy efficiency of photovoltaic installations, changes in consumer behavior, or the influence of regional policies aimed at reducing energy consumption.

The use of moving-average-based methods can support distribution operators and decision-makers in identifying behavioral changes among prosumers and adapting network management strategies. These methods can be integrated into advanced monitoring and short- and medium-term forecasting systems, contributing to the optimization of energy consumption and production.

3.5. Forecasting Errors

To evaluate the performance of the forecasting methods applied in this study, several standard error metrics were calculated to assess the accuracy and reliability of the estimates:

- MAD (Mean Absolute Deviation) - measures the average absolute difference between forecasted and actual values;
- MSE (Mean Squared Error) - assigns greater weight to large errors, making it particularly sensitive to substantial deviations between forecasted and actual values;
- MAPE (Mean Absolute Percentage Error) - expresses the average percentage deviation of forecasted values from actual values;
- CFE (Cumulative Forecast Error) - indicates the presence of a systematic tendency toward overestimation or underestimation in the forecasts;
- ME (Mean Error) - reflects the average direction and magnitude of forecasting errors.

Due to the large size of the dataset, all calculations were performed in Microsoft Excel, which enabled efficient data processing and facilitated the transparent and flexible implementation of the mathematical formulas associated with each evaluation metric.

Table 2.

Forecast Error Metrics

Forecasting Method	**Forecast Error Metrics**				
	MAD	MSE	MAPE (%)	CFE	ME
Simple Moving Average (SMA)	7341.51	54253.065	55.04	-22024.54	-7341.51
Weighted Moving Average (WMA)	5779.60	35336.010	45.74	-17338.81	-5779.60
Multiple Linear Regression (MLR)	1.1524	40.6147	46.25	-0.000000005	-0.00000000000025

The analysis of the forecast error metrics presented in Table 2 reveals significant differences among the three methods evaluated.

- Simple Moving Average (SMA) exhibits the highest error values (MAD=7341.51; MSE=54,253.07; MAPE=55.04%), indicating low forecasting accuracy

and a systematic underestimation of actual values, as reflected by the negative values of CFE and ME.

- Weighted Moving Average (WMA) provides better results than SMA, with lower error values across all evaluation metrics (e.g., MAPE=45.74%), indicating a more effective adaptation to recent data trends. However, the values of CFE and ME still suggest a slight tendency to underestimate actual values.
- Multiple Linear Regression (MLR) achieves the lowest error values (MAD=1.15; MSE=40.61; MAPE=46.25%), while the values of CFE and ME are close to zero, indicating balanced estimates with no systematic forecasting bias. These results confirm the superior performance of the multiple regression model in estimating exported power values compared to forecasting methods based on moving averages.

Therefore, multiple linear regression proves to be the best-performing method among those analyzed, followed by the weighted moving average, whereas the simple moving average produces the least accurate results.

4. Conclusions

The statistical analysis conducted on a sample of 21,426 prosumers and active enterprises from the Banat region revealed significant relationships among the key performance indicators of photovoltaic systems. The results showed a very strong correlation between Installed Capacity and Exported Power (r=0.976), which was further confirmed by the simple linear regression model, characterized by a high coefficient of determination (R^2=0.952). The multiple linear regression model exhibited a slightly higher explanatory power (R^2=0.953), demonstrating the cumulative influence of several factors on exported power.

The application of moving average methods enabled the identification of a general downward trend in active energy consumption during the analyzed period, suggesting possible improvements in energy efficiency and changes in prosumer behavior.

The comparison of forecasting methods demonstrated that multiple linear regression provides the best overall performance, achieving the lowest estimation errors and a high capability to approximate actual values.

Declaration on the Use of Artificial Intelligence

The authors declare that ChatGPT Plus, developed by OpenAI, was used as an auxiliary tool for structuring, language refinement, translation support, and clarifying the interpretation of technical variables. All AI-generated suggestions and translated content were critically reviewed, verified, and approved by the authors. The authors take full responsibility for the final content of the manuscript.

References

1. ANRE, Annual Report on the Activity of the Romanian Energy Regulatory Authority, 2023.

2. ANRE, Annual Report on the Activity of the Romanian Energy Regulatory Authority, 2024.

3. Chicheș M., Study on Forecasting and Statistical Analysis of Photovoltaic Energy Production in the Banat Region, Master's Thesis, Babeș-Bolyai University, Faculty of Engineering, Supervisor: O.-I. Amariei, 2025.

4. **European Commission,** *Clean Energy for All Europeans: A New Energy Policy for Europe*. European Commission, 2020.

5. Medveď, D., Kolcun, M., Pavlík, M., Beňa, Ľ., & Mešter, M., Analysis of prosumer behavior in the electrical network. Energies, 14(24), 8212, 2021.

6. NIST/SEMATECH, e-Handbook of Statistical Methods. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2012.

7. Wei Lu, Jay Wang, Accumulated Performance Comparison of Solar PV and Solar Thermal Water Heating in New Zealand, Engineering Reports, Vol.7, Issue 12, 2025

8. *** https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:52022DC0221

DETERMINING THE OPTIMAL NUMBER OF MAIN FEEDERS FOR A MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDING BASED ON THE TOTAL DISCOUNTED COST FUNCTION

Chyzhevskyi Volodymyr
Candidate of Technical Sciences,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine
DOI: 10.5281/zenodo.21472573

Abstract

This article proposes an approach to solving the problem of determining the optimal number of main feeders for a multi-apartment residential building based on minimising the total discounted cost function. It is shown that solving this problem requires considering many different economic and technical characteristics of the planned low-voltage in-building network. Possible ways of simplifying the process of solving this problem are outlined.

Keywords: electricity supply, multi-apartment building, main feeder number, optimization.

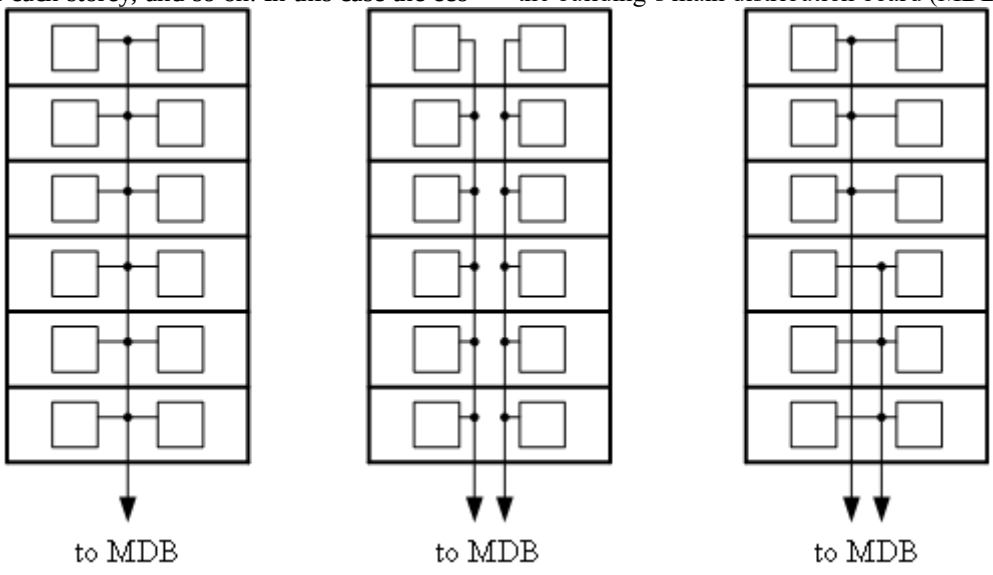
Introduction

During the design of multi-apartment residential buildings one of the most important tasks is the design of the building's power supply system, as the residents' level of comfort will largely depend on the quality of this work. At the initial stage of designing the building's internal power supply system a key parameter is the number of main feeders that will transmit electrical energy from the building's service entrance or main distribution board to the floor distribution boards. The number of main feeders in the building determines the layout of the electrical distribution network on each floor, the possibility of providing backup power to consumers and, ultimately, the voltage level at the point of entry to each apartment.

In most cases the number of main feeders in a building's internal electrical network is determined based on standard designs and regulatory documents at national or sectoral level (for example, [1] for Ukraine). However, this approach cannot fully consider all the specific features of a particular project – such as the type and material of busbar, wire or cable used for the main feeders, the actual height and total number of storeys, the location of high-power building-wide consumers on each storey, and so on. In this case the economic factor is considered only in terms of capital expenditure when determining the number of main feeders in a building, whilst the ongoing operational costs (associated primarily with compensating for active energy losses in the feeders) are overlooked. Considering the constant rise in the cost of electricity neglecting this factor will, in the long term, lead to a significant increase in costs for building management companies.

A methodology for determining the optimal number of main feeders in a multi-apartment building using the total discounted cost function

In practice, various power supply schemes are used for multi-storey buildings and structures. Power supply schemes for commercial buildings may involve feeding medium-voltage (MV) feeders into the building, with one or more MV/LV step-down substations located on the technical floors [2]. For residential buildings, the rated voltage class of internal electrical networks is limited to 1 kV [3], so power supply schemes with floor-level LV/LV substations (for example, 0.95 kV/0.40 kV) are used very rarely. More widely used are power supply schemes for multi-apartment buildings with one or more low-voltage feeders, which provide centralised power to all consumers in the building from the building's main distribution board (MDB) (Fig. 1).



a) *b)* *c)*

Figure 1 – Typical power supply diagrams for multi-apartment buildings

The electrical supply diagram shown in Fig. 1a is most used in multi-apartment buildings connected to district heating systems, where natural gas is the primary energy source for cooking. The power supply diagrams shown in Fig. 1b and Fig. 1c are most used to provide electricity to multi-apartment buildings where electricity is the primary energy source for cooking and heating.

The key parameters of the main feeders, in terms of ensuring the electricity supply to all consumers in a multi-apartment building, are the cross-sectional area of the conductive part and its material, which determine the feeder's maximum permissible current (I_{max}) and its specific electrical resistance (r_0). These parameters are chosen so that the following inequalities hold (for the single-phase apartments' power supply type):

$$N_{\text{ap f}} \cdot I_{\text{ap}} \le I_{\max}; \quad (1)$$

$$\left|\sum_{k=0}^{N-1} \dot{I}_{k-(k+1)} \cdot D_{k-(k+1)} \cdot r_0\right| \le \Delta U_{\max}, \quad (2)$$

where:

$N_{\text{ap f}}$ – building apartments number connected to the single feeder;

I_{ap} – module of a feeder phase current consumed by a single apartment;

N – number of building storeys;

$\Delta U_{\max}$ – feeder permissible voltage drop (for example, defined by [3]);

$\dot{I}_{k-(k+1)}$ – feeder phase current in the section of the main feeder between the MDB of k-th and (k+1)-th storeys (Fig. 2);

$D_{k-(k+1)}$ – distance between the MDB of k-th and (k+1)-th storeys.

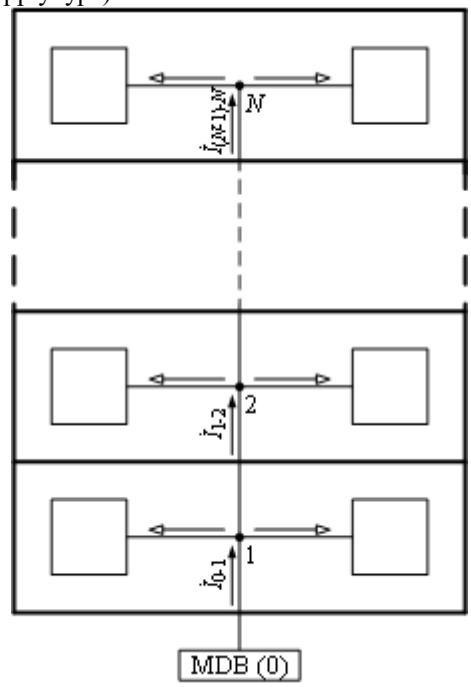


Figure 2 – Calculation of the current in feeder sections

Module of current consumed by a single apartment can be approximately defined as

$$I_{\text{ap}} = \frac{P(N_{\text{ap f}})}{\cos\phi}, \quad (3)$$

where:

P ($N_{\text{ap f}}$) – the specific calculated electrical load of one of the apartments connected to the feeder by [1];

cosφ – power factor of the apartment.

Feeder phase current in the section of the main feeder between the MDB of k-th and (k+1)-th storeys can be defined as:

$$\dot{I}_{k-(k+1)} = (N-k) \cdot N_{\text{ap st f}} \cdot \dot{I}_{\text{ap}}, \quad (4)$$

where:

$N_{\text{ap st f}}$ – storey apartments number connected to the single feeder;

$\dot{I}_{\text{ap}}$ – complex phase current consumed by a single apartment:

$$\dot{I}_{\text{ap}} = P\left(N_{\text{ap f}}\right) \cdot (1 + j\tan\phi). \quad (5)$$

The optimal number of feeders, with known cross-sections, materials and permissible currents, can be determined by finding the minimum of the total discounted cost function, expressed for various configurations and numbers of feeders. In general terms, the total discounted cost function C_{d} can be expressed as [4]:

$$\text{C}_{\text{d}} = N_{\text{f}} \cdot \left(K + \sum_{t=1}^{T} \frac{B_t}{(1+E)^t}\right), \quad (6)$$

where:

N_{f} – number of the feeders of certain type in the building;

K – capital investment in the single feeder of certain type;

T – calculation period (may be equal to, for example, the feeder's design service life);

B_t – current expenses related to the compensation of active energy losses in the feeder and operating costs in year t;

E – discount rate.

The expenses for year t can be defined as [4]:

$$B_t = B_{\text{m}\,t} + B_{\text{l}\,t} + B_{\text{c}\,t}, \quad (7)$$

where:

$B_{\text{m}\,t}$ – single feeder maintaining expenses for year t;

$B_{l\,t}$ – expenses for the compensation of the single feeder active energy losses for year *t*;

$B_{c\,t}$ – payment of interest on a loan (if the building's electricity distribution system was built using loan funds) for year *t*.

If it is possible to neglect the asymmetry in electricity consumption across the phases of the feeder, the expenses related to the compensation of energy losses can be determined as:

$$B_{l\,t} = 3 \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \left| \dot{I}_{k-(k+1)_t} \right|^2 \cdot D_{k-(k+1)} \cdot r_0 \cdot \tau_t \cdot C_t, \quad (8)$$

where:

τ_t – time of maximum active energy losses for year *t* (can be calculated or taken by the tables);

C_t – cost of compensation for electricity losses to the operating company for year *t*.

The discount rate in (6) can be calculated as follows [4]:

$$E = E_{\text{nom}} - i, \quad (9)$$

where:

E_{nom} – the nominal discount rate corresponding to the nominal value of the bank lending rate;

i – inflation rate.

Based on (6), the values of the total discounted cost function must be calculated for different configuration options for the supply feeders of a block of flats over a specified design period. The option characterised by the minimum value of this function should be considered the optimal one.

Conclusions

The proposed approach to determining the optimal number of service feeders in a multi-apartment building makes it possible to consider both technical parameters and constraints, as well as a wide range of economic indicators. This approach ensures a more appropriate selection of feeder parameters than those prescribed by regulatory documents, as it considers how these indicators change over time.

References

1. National Building Regulations (DBN) B.2.5-23:2025 "Design of electrical installations for residential buildings and public buildings and structures", Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine, Kyiv, 2025, 101 p.

2. Schneider Electric. Electrical installation guide, Edition 2018, Schneider Electric Industries SAS, 2018, 588 p.

3. Rules for the Installation of Electrical Installations. In force pursuant to Order No. 476 of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine dated 21 July 2017, Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, Kyiv, 617 p.

4. Industry Information Document (GKD) 340.000.002-97 "Determining the economic efficiency of capital investment in the energy sector. Methodology. Power systems and electricity networks", "Ukrenergomerezhproekt" Institute, 1997, 54 p.

PRINCIPLES OF DESIGNING SELF-LEARNING DATA FLOW MANAGEMENT SYSTEMS IN A BUSINESS ENVIRONMENT

Oleh Hrebeniuk
Software Engineer, 24 and Up
Raleigh, USA
ORCID ID: 0009-0003-0897-3579
DOI: 10.5281/zenodo.21472619

Abstract

The article examines the principles of designing self-learning data flow management systems in a business environment. The need to move from static configuration of stream processing infrastructure to adaptive loops based on observability, formalized system state representation, validation of control decisions, and controlled execution of actions is substantiated. Special attention is paid to reinforcement learning as a mechanism for sequential tuning of data processing parameters, taking into account throughput, the volume of unprocessed events, downstream service latency, resource utilization, data freshness, and SLA/SLO compliance. The article also examines the architectural components of such systems, the logic of the reward function, production environment constraints, and application areas in corporate IT infrastructures.

Keywords: data flows, self-learning systems, reinforcement learning, stream processing, observability, corporate IT infrastructure, business process automation.

Introduction

In the context of corporate digitalization, data flows have become a key object of business infrastructure management. Transactional events, user actions, system logs, telemetry, and data from ERP, CRM, BI, and analytical platforms form continuous information flows that affect service performance, decision-making quality, and business process resilience. The growth of data volumes, integrations, and distributed architectures further complicates the control of latency, throughput, queues, and resource utilization.

Traditional data flow management, based on static routing rules, fixed processing parameters, and manual configuration, is becoming insufficient for dynamic corporate IT environments. Under variable workloads, such systems often react with delay and require continuous administrator involvement. Therefore, adaptive mechanisms capable of analyzing observable metrics and automatically adjusting processing parameters are becoming increasingly important.

The objective of this article is to examine the principles of designing self-learning data flow management systems in a business environment based on reinforcement learning mechanisms.

Main part. Data flows in the corporate IT environment as an object of adaptive management

Modern business infrastructure generates continuous and quasi-continuous event streams originating from business applications, user interfaces, transaction systems, IoT devices, monitoring tools, security logs, and analytical platforms. Unlike static datasets, these streams are characterized by variable intensity, heterogeneous structure, and dependence on the current state of business processes [1]. The practical importance of data flow management is confirmed by the scale of the market: according to The Business Research Company, the global big data infrastructure market is expected to increase from $253.56 billion in 2025 to $307.86 billion by the end of 2026 (fig. 1).

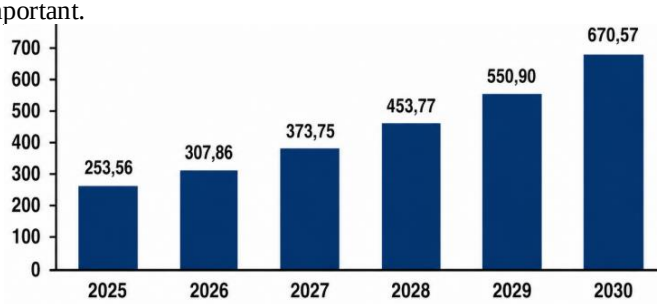


Figure 1. Forecast growth of the global big data infrastructure market according to The Business Research Company, billion dollars [2]

These market estimates indicate that data processing, transmission, and storage are no longer auxiliary functions but are becoming an independent infrastructure layer of corporate management.

Streaming architectures are becoming increasingly important as businesses require near-real-time event processing for payments, order management, anti-fraud monitoring, personalization, logistics, industrial telemetry, and SLA control. According to the Confluent Data Streaming Report 2025, 86% of 4,175 surveyed IT leaders consider data streaming investment strategic or important, while 90% increased investment in data streaming platforms [3]. These findings show that data flows are becoming managed resources that affect digital product delivery, analytics quality, and AI infrastructure readiness.

From a technical perspective, a data flow becomes an object of adaptive management when its state is formalized through observable metrics and linked to permissible control actions. These metrics include latency, throughput, backlog, event loss rate, retry rate, consumer lag, resource utilization, processing cost per event, data freshness, and SLA deviations. A measurable system state enables a shift from manual parameter tuning to adaptive management, where the system detects degradation and adjusts its behavior according to the current workload (table 1).

Table 1

Comparison of manual and adaptive data flow management in corporate IT infrastructure

Criterion	Manual data flow management	Adaptive data flow management
Configuration principle	Parameters are predefined by engineers based on typical workload scenarios and expert judgment.	Parameters are dynamically adjusted according to observable metrics and the current system state.
Control parameters	Consumer instances, batch size, queue depth, retry policy, routing priorities, and autoscaling thresholds are set manually.	The same parameters can be adjusted automatically based on latency, backlog, consumer lag, error rate, and resource utilization.
Response to workload changes	Response depends on manual detection, incident analysis, and configuration changes.	The system can detect overload patterns and react before critical SLA degradation.
Peak load behavior	Peak loads may lead to queue accumulation, latency growth, and downstream service degradation.	The system can redistribute load, adjust priorities, and scale resources dynamically.
Resource utilization	Resources may be either over-provisioned or insufficient under changing workloads.	Resources are allocated according to actual flow intensity and business priority.
Engineering role	Engineers monitor, diagnose, reconfigure, and mitigate overload consequences.	Engineers define constraints, target metrics, and supervise automated decisions.
Main risks	Delayed response, configuration errors, and incomplete dependency analysis.	Poor metric quality, incorrect control logic, and insufficient safety constraints.

Thus, the adaptive model changes the logic of data flow management: instead of responding only after deviations occur, the system continuously evaluates the environment through performance, reliability, and processing-cost metrics. A data flow can therefore be treated not only as a transmission channel but also as a dynamic control object, where changes in queue priority, processing route, number of consumer instances, or time-window size affect the subsequent state of the infrastructure. This makes data flow management a sequential decision-making task and creates a methodological basis for reinforcement learning: an RL agent uses observable metrics to describe the environment, selects control actions, and adjusts its policy according to their effects on latency, throughput, processing cost, and service resilience.

Architecture of a self-learning data flow management system

A self-learning data flow management system should be considered as a closed engineering loop embedded into the corporate stream processing infrastructure. Unlike a classical architecture, where routing, scaling, and prioritization parameters are predefined, such a system continuously collects metrics, formalizes the current state of the environment, selects a control action, and applies it through a controlled execution layer. The main data flow passes through event sources, a message broker, a stream processing engine, and downstream systems, while the control loop uses an observability layer, a state representation module, an RL agent, a decision layer, and an execution layer to adapt processing parameters to the current workload, SLA constraints, and resource costs. The design principles of such systems are summarized in table 2.

Table 2

Design principles of self-learning data flow management systems

Principle	Technical meaning	Implementation focus
Observability by design	The system must continuously collect metrics describing flow behavior and infrastructure state.	Latency, throughput, backlog, consumer lag, error rate, resource utilization, data freshness, SLA/SLO status.
Formalized state representation	Raw metrics must be converted into a structured state suitable for automated decision-making.	Feature vectors, time-window aggregation, trend indicators, anomaly signals, workload profiles.
Limited action space	The agent must select actions only from a predefined set of technically safe operations.	Scaling, routing, priority adjustment, batch/window tuning, retry policy configuration.
Controlled decision execution	Proposed actions must be validated before they affect production infrastructure.	Decision layer, SLA/SLO checks, security rules, cost limits, consistency constraints.
Feedback-based optimization	Each action must be evaluated by its actual effect on the system state.	Reward function, updated metrics, policy adjustment, fallback mechanisms.
Production safety	Self-optimization must not reduce reliability or controllability of the production environment.	Guardrails, audit logs, human-in-the-loop, rollback and fallback scenarios.

The principles summarized in table 2 define the general engineering logic of a self-learning data flow management system. However, their practical implementation requires decomposition into specific architectural components, each responsible for a separate function within the data processing and control loop. Therefore, the system should be represented not only through design principles, but also through the interaction of infrastructure, observability, decision-making, and execution modules, as shown in table 3.

Table 3

Architectural components of a self-learning data flow management system

Component	Purpose in the architecture	Technical role
Data sources	Generate input events for stream processing	APIs, business applications, transaction services, IoT devices, logs, telemetry.
Message broker / streaming bus	Receives, buffers, and routes events	Provides asynchronous data transfer, load smoothing, and separation of producer and consumer components.
Stream processing engine	Processes events in streaming mode	Filtering, aggregation, enrichment, schema validation, window processing, routing to downstream systems.
Downstream systems	Consume processed data	Data lake, DWH, analytical platforms, ML/AI services, operational applications, dashboards.
Observability layer	Collects technical and business metrics	Latency, throughput, consumer lag, backlog, error rate, retry rate, CPU/RAM utilization, data freshness, SLA violations.
State representation module	Converts metrics into a description of the environment state	Forms a feature vector: time windows, trends, p95/p99 latency, overload indicators, anomalies, flow priority.
RL agent	Selects a control action	Evaluates the environment state, uses a policy and reward function, and selects an action from a limited action space.
Decision layer	Validates the action before execution	Blocks decisions that violate SLA, resource limits, security requirements, consistency rules, or budget constraints.
Execution layer	Applies approved configuration changes	Adjusts the number of consumer instances, batch size, window size, retry policy, queue priorities, routing, and autoscaling parameters.

This architecture separates the operational data processing flow from the adaptive decision-making loop. Such separation is essential in production environments, where RL-agent actions must be validated against SLA requirements, downstream limits, security rules, and compute costs before execution. After an approved action is applied, the observability layer records the updated system state and returns metrics to the control loop. As a result, data flow management shifts from static rules to a self-optimization cycle that evaluates each decision by its impact on latency, throughput, stability, data quality, and resource cost.

Reinforcement learning as a mechanism for data flow self-optimization

From a technical perspective, the use of reinforcement learning requires data flow management to be formalized as a sequential decision-making task. In this setting, the stream processing infrastructure is treated as a dynamic environment whose state changes after each control action. This is important because modifying a single parameter, such as parallelism, batch size,

retry policy, or processing route, affects not only current latency but also the subsequent state of queues, processor workload, downstream service stability, and computing cost. Therefore, an RL model should account not for an isolated metric deviation, but for a chain of interconnected states, actions, and outcomes. This logic can be represented through a Markov Decision Process, where the observed infrastructure state is linked to an admissible agent action and the subsequent evaluation of its effect (fig. 2).

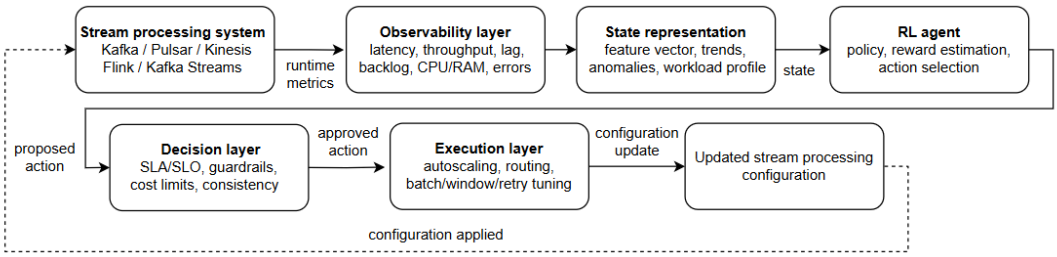


Figure 2. RL-based control loop for self-optimization of stream processing infrastructure

The logic shown in fig. 2 can be linked to recent approaches to adaptive tuning of stream processing pipelines, where control is performed not only through resource scaling but also through runtime parameter adjustment. In this context, STREAMLINE is a relevant example, as it relies on workload monitoring, prediction, and configuration adaptation to maintain performance under resource constraints. Its benchmark results support the idea that self-optimization should address a combination of throughput, latency, CPU utilization, and execution cost rather than a single isolated metric (table 4).

Table 4

STREAMLINE benchmark results for adaptive tuning of streaming data pipelines [4]

Metric	Benchmark result	Relevance to data flow self-optimization
Throughput	Improvement of up to 4×	Confirms that adaptive tuning can increase processing capacity without manual pipeline reconfiguration.
End-to-end latency	Improvement of up to 10×	Shows the potential of runtime adaptation to reduce event processing latency.
CPU utilization	Improvement of up to 9×	Indicates more efficient distribution of computational load across operators.
Execution cost	Reduction of up to 10×	Highlights the need to include execution cost in the reward function and decision layer.

The benchmark results indicate that adaptive control should be based on a multidimensional state representation rather than isolated threshold values. For an RL-based system, this means that the agent should operate with a feature vector including input rate, throughput, backlog, consumer lag, p95/p99 latency, CPU and memory utilization, retry rate, error rate, data freshness, saturation signals, and current SLA/SLO status. This approach is consistent with the design principles of corporate AI platforms, where an intelligent component must be embedded into a controlled architecture with formalized input features, constraints, and verifiable outcomes [5].

A key element of the RL mechanism is the **reward function**, as it defines how the selected configuration is evaluated [6]. In data flow management, it should not be limited to latency minimization or throughput maximization. A more appropriate approach is a multi-criteria evaluation model that accounts for p95/p99 latency, backlog, data freshness, throughput stability, and SLA compliance. Its negative components should reflect error rate growth, downstream service overload, resource budget overruns, event ordering violations, and excessive scaling. This is especially important for corporate and financial systems, where IT infrastructure must ensure not only operational speed but also reliability, controllability, and predictability of business processes [7].

At the same time, the RL agent should not directly modify the configuration of the broker, Kubernetes cluster, or stream processing framework. Its output should be treated as a proposed action and validated by the decision layer. At this level, the action is checked against SLA/SLO requirements, resource limits, idempotency constraints, database and downstream API capacity, and security policies [8]. For example, increasing the number of consumer instances may be rejected if a downstream service is already saturated; changes to retry policy must consider the risk of duplicate events; and increasing batch size may be unsuitable for flows requiring minimal delivery latency. This brings the RL loop closer to SLI/SLO-driven operations, where telemetry analysis and incident management support the efficiency of distributed computing environments [9].

Thus, reinforcement learning should be viewed as a controlled mechanism of data flow self-optimization. Its effectiveness depends on the full engineering framework, including observability, state representation, action space, reward function, decision layer, and fallback mechanisms. This enables improved stream processing efficiency while preserving production controllability and balancing performance, cost, data quality, and downstream resilience.

Application areas of self-learning systems in corporate IT infrastructures

The practical application of self-learning data flow management systems is most justified in corporate environments where high event frequency is combined with the need to automate business processes: warehouse logistics, order management, payment infrastructure, analytical systems, no-code/low-code platforms, and AI-agent-based applications. The relevance of this approach is confirmed by the results of a 2025 ABI Research survey of 490 supply chain management specialists from the United States, Mexico, Germany, and Malaysia (fig. 3).

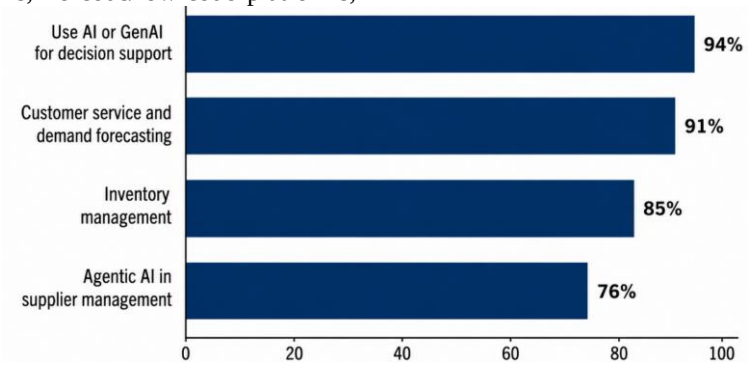


Figure 3. Intended areas of AI, GenAI, and agentic AI use in supply chain management according to ABI Research 2025 [10]

These data show that corporate automation is shifting from isolated accounting systems to platforms capable of analyzing operational flows, generating recommendations, and adapting actions according to the current state of a business process.

Warehouse and distribution logistics is a representative application area, where orders, inventory records, routes, goods movement events, sensor signals, and operation statuses generate continuous data flows. A self-learning control loop can dynamically manage task queues, prioritize flows, and route events between warehouse management, transportation management, and analytical systems. In 2025, Walmart described scaling real-time AI and automation across its global supply chain, including predictive warehouse and transportation management, self-healing inventory, and agentic AI tools that convert hours of deviation analysis into recommendations generated within seconds. Its Self-Healing Inventory system has already delivered more than $55 million in savings, linking data flow automation with inventory optimization and economic impact [11].

A similar logic is characteristic of platform-**based automation of warehouse operations and fulfillment processes**. Amazon reports that since 2012 it has deployed more than 1 million robots across its operations network, and in 2024 it launched a next-generation fulfillment center where eight robotic systems work together to support order packing and delivery [12]. In this context, the key factor is not only the physical movement of goods, but also the software layer that processes data from sensors, cameras, and machine operations through the AWS cloud infrastructure. A self-learning data flow management system can serve as a connecting layer between warehouse events, robotic subsystems, a no-code/AI-agent analytics core, and operational management tools.

Another application area is **logistics visibility and automatic event tracking** in distributed networks. In 2026, UPS announced the broad deployment of RFID sensing across its integrated network and stated that it had already invested more than $100 million in the development and implementation of this technology [13]. Unlike traditional scanning, RFID enables automatic tracking of package movement without manual scans, providing more accurate shipment status data and faster response to disruptions such as weather-related delays or route deviations. For self-learning systems, these data can serve as a stream of observations: an RL loop can account for delays, route changes, node overload, and SLA deviations, proposing corrective actions for routing, prioritization, or load redistribution.

Thus, in corporate practice, self-learning data flow management systems can serve as an engineering layer between operational events and business automation. Their value is especially high where stream processing, AI agents, no-code tools, integrations with external systems, and automation of logistics or financial processes must be combined. The implementation of such solutions should follow a staged model: first, metric collection and an observability loop; then, a recommendation-based decision layer; next, limited automated execution of actions; and only at a mature stage, a full self-optimization loop. This approach can improve the efficiency of corporate IT infrastructure without reducing control over the production environment.

Conclusion

Self-learning data flow management systems extend classical stream processing architectures by adding an adaptive loop for observation, decision-making, and controlled execution. Their design requires representing the infrastructure as a dynamic environment described by latency, throughput, backlog, consumer lag, resource utilization, data freshness, and SLA/SLO status, while limiting control actions to a safe action space. Reinforcement learning enables sequential configuration optimization, but its effectiveness depends on observability, state representation, reward function, decision layer, and fallback mechanisms. Therefore, such systems can improve the resilience and operational efficiency of corporate IT infrastructures, provided that they are implemented gradually and production risks are strictly controlled.

References

1. Rahman MA, Zamil MH, Hoque AB. A meta-analysis of ERP and CRM integration tools in business process optimization. ASRC Procedia: Global Perspectives in Science and Scholarship. 2025;1(01):278-312. doi: 10.63125/yah70173.

2. The Business Research Company. Big Data Infrastructure Market Report 2026 [Internet]. 2026 [cited 2026 May 14]. Available from: https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/big-data-infrastructure-global-market-report

3. Confluent. The 2025 Data Streaming Report: Real-Time Data, Real Business Results [Internet]. 2025 [cited 2026 May 16]. Available from: https://www.confluent.io/resources/report/2025-data-streaming-report/

4. Pedratscher S, Samani Z, Poveda J, Fahringer T, Etheredge M, Younesi A, et al. STREAMLINE: Dynamic and resource-efficient auto-tuning of stream processing data pipeline ensembles. Internet of Things. 2025;34:101731. doi: 10.1016/j.iot.2025.101731.

5. Miloserdov A. Methodological foundations of designing AI platforms for corporate B2B users. Professional Bulletin: Information Technology and Security. 2026;(1):43-52.

6. Lu R, Shao Z, Ding Y, Chen R, Wu D, Su H, et al. Discovery of the reward function for embodied reinforcement learning agents. Nature Communications. 2025;16:11064. doi: 10.1038/s41467-025-66009-y.

7. Lim E. Use of information technologies to improve the operational efficiency of business processes in the financial sector. Universum: Economics and Jurisprudence: electronic scientific journal. 2026;5(139):52-60.

8. Odriozola-Olalde H, Zamalloa M, Arana-Arexolaleiba N, Perez-Cerrolaza J. Towards robust shielded reinforcement learning through adaptive constraints and exploration: The fear field framework. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2025;144:110055. doi: 10.1016/j.engappai.2025.110055.

9. Khlystun M. Methods for improving the efficiency of AI cluster operations based on telemetry analysis, SLI/SLO, and incident management. Professional Bulletin: Information Technology and Security. 2026;(1):66-72.

10. Luitel A. 2025 Supply Chain Survey Results—Artificial Intelligence (AI) Usage and Investment Plans [Internet]. ABI Research; 2025 Oct 14 [cited 2026 May 18]. Available from: https://www.abiresearch.com/blog/artificial-intelligence-ai-in-supply-chain-survey-results

11. Walmart. Walmart's U.S. Supply Chain Playbook Goes Global — and It's Reinventing Retail at Scale [Internet]. 2025 Jul 17 [cited 2026 May 18]. Available from: https://corporate.walmart.com/news/2025/07/17/walmarts-us-supply-chain-playbook-goes-global-and-its-reinventing-retail-at-scale

12. Greenawalt T. Amazon uses robots that sort, lift, and carry packages—see them in action [Internet]. Amazon [cited 2026 May 18]. Available from: https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center

13. UPS. UPS's RFID Sensing Technology Transforms Logistics Industry, Giving Customers Unprecedented Package Visibility and Reliability [Internet]. 2026 Apr 14 [cited 2026 May 18]. Available from: https://about.ups.com/us/en/newsroom/press-releases/customer-first/ups-s-rfid-sensingtechnologytransformslogisticsindustry-givingcu.html

EFFECT OF BARIUM ON THE CRYSTALLINE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AN AUTOMOTIVE ALUMINUM ALLOY

Vera-Serna P.
Doctor in Materials Science,
Polytechnic University of Tecámac
Garcia-Sanchez I.
Master in Sciences Student
Polytechnic University of Tecámac
Martínez-Bocanegra M.A.
Master in Sciences in Mechanical Engineering
National Technological Institute of Mexico/TSI South of Guanajuato
Cetina-Quijano G. M.
Master in Administration
Polytechnic University of Tecámac
DOI: 10.5281/zenodo.21472659

Abstract

One of the main challenges in transportation today is finding materials that offer high strength but are light-weight. Aluminum alloys are an option adequate under it principle, and in this paper are explored the effect of adding barium carbonate to them. In this study was used a commercial automotive alloy, which was heat-treated to ensure proper microstructural modification. To verify the structural modifications was used techniques as X-Ray Diffraction and Tensile testing. The X-Ray Diffraction analysis revealed the modification of structures in the alloy, while the mechanical tests showed considerable elongation and a maximum strength that before to experiment there are not information over the diagram stress-displacement. This demonstrates that barium products and the process used can be used with similar results in alloys.

Keywords: Tensile test, Mechanical properties, Structural modification, Aluminum alloy, Automotive alloy, X-Ray Diffraction (XRD).

1.0 Introduction

In recent years, pressure to comply with increasingly stringent environmental regulations has forced the automotive, aerospace, and rail industries to seek materials that are lighter yet capable of withstanding demanding mechanical loads [1, 2]. To achieve this, replacing conventional materials with advanced metal alloys has been one of the most common approaches, allowing for weight reduction without compromising safety. Among these alternatives, aluminum has been widely adopted. Its popularity stems from its excellent specific strength, corrosion resistance, and ease of recycling. Among materials used for automotive parts, the 6xxx series is highly valued for its ease of forming and its response to precipitation hardening. Although its performance is very good, it requires strict control of the ratio of other metallic elements, as any imbalance can affect both corrosion resistance and the final mechanical properties [3, 4]. It is worth noting that these characteristics depend not only on chemical composition but also on how the microstructure is controlled during manufacturing. Specifically, alkaline earth metals, such as calcium and strontium, have traditionally been used to modify the morphology of intermetallic and eutectic silicon [5, 6]. However, barium (Ba) has emerged in recent research as a viable alternative for grain refinement and the modification of intermetallic phases [7, 8]. Deev et al. (2024) demonstrated that the addition of barium, even in the form of salts such as barium carbonate ($BaCO_3$), significantly refines the particles of metallic elements and reduces the porosity typical of solidification [9, 10]. Despite this background, there is a significant gap in the literature regarding the systematic mechanical characterization of commercial automotive alloys modified with $BaCO_3$ under real-world service conditions. This study addresses this issue, with the objective of systematically evaluating the addition of $BaCO_3$ to an automotive alloy used in commercial vehicles in Mexico, determining its effect on the microstructure and mechanical behavior of the material. This work was developed with a piece of real aluminum taken from a sedan-type vehicle; it was modified with $BaCO_3$ and subjected to heat treatment at a temperature close to the melting point of aluminum. The ultimate goal is to determine whether a phase transformation occurs, which in turn induces changes in mechanical strength and hardness.

2.0 Methods and materials

The study is oriented to develop knowledge on alloy used in commercial cars and in the next paragraphs are showed the materials and the method applied.

2.1 Materials

The principal material used in the experiment comes from an original automotive aluminum part removed from a sedan. The choice of an actual part in service, rather than a commercial laboratory alloy, is intended to evaluate the feasibility of the modification on a material subject to real industrial production impurities. To carry out the modification powders of $BaCO_3$ (Sigma-Aldrich with purity>99%) was added in a controlled proportion.

2.2 Methodology

To ensure the exactitude and accuracy of the dosing, a high-precision Ohaus Pioneer analytical balance

was used. A small representative sample of the base alloy was cut and the 2% in mass of $BaCO_3$ was added to the aluminum alloy. It should be noted that this same specimen, after being modified and heat-treated, was used directly for X-ray diffraction (XRD) characterization, which allows for complete traceability between the exact dosage and the results obtained. Once the alloy had been homogenized with the powders of BaCO3, the solution heat treatment was performed using an FE-340 muffle furnace. The modified alloy specimens were heated under melting fusion temperature of aluminum and held at this temperature for 1 hour. Subsequently, the specimens were quenched in water at room temperature.

For phase identification, a Bruker X-Ray Diffractometer was used, employing Cu Kα radiation with a wavelength (λ) of 1.5406 Å. Scans were performed over an angular range of 2θ from 20° to 90° on M0 and 20° to 70° on M1, allowing the identification of the main peaks by comparison with the cards. Hardness was measured on a Mitutoyo Wizhard using a 15N scale. To evaluate the mechanical properties, a uniaxial tensile test was conducted in accordance with ASTM E8/E8M [13] from Marxtext machine model ETM-100 with capacity in 100KN.

3.0 Results and discussion

The results obtained in this study are showed as were developed, in this case there are two specimens of alloy identified in Table 1.

Table 1.

Specimens

Specimen	Description	Material additional	Mass added
M0	Original alloy	None	0
M1	Modified alloy	BacO3	2%

3.1 XRD analysis

In the profile of the original alloy were identified the diffraction patterns of the phases Al (ICCD 01-081-9826), $(Al_3Ni_2)_{0.4}$ (PDF 01-077-6813) were identified, as well as the presence of Fe (COD 1100108), Zn (PDF 01-071-3764), and the phase $Al_5Cu_2Mn_3$(PDF 04-011-9390) , Cr (JCPDS Card No.: 06-0694) showed in figure 1.

These compounds are characteristic of the impurity and alloying elements present in commercial cast/forged aluminum. The presence of these phases, although common, can create stress concentration points if their morphology is coarse or acicular.

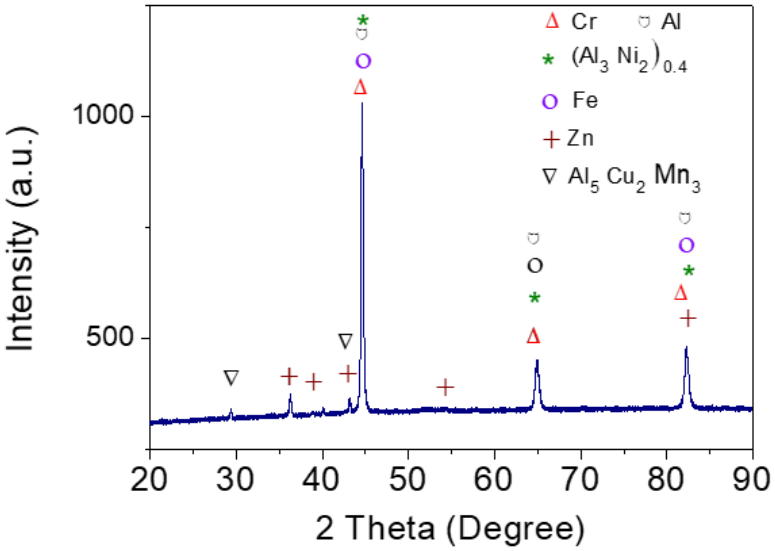


Fig. 1. XRD profiles identified in specimen M0.

On the other hand, the diffraction pattern of the $BaCO_3$ modified alloy, shown in figure 2, reveals significant structural changes. The presence of barium a part of phase can be identified, confirming the effectiveness of the chemical modification as the carbonate decomposes during heat treatment. Furthermore, complex phases such as $Mg_{0.5}Cu_{0.25}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ (ICCD-04-019-3750) and $Cr_{0.25}Fe_{1.75}O_3$ were detected, in addition to the aluminum and part of barium phases. The formation of these phases suggests that the addition of sample M1 promoted heterogeneous particle nucleation during solidification [7].

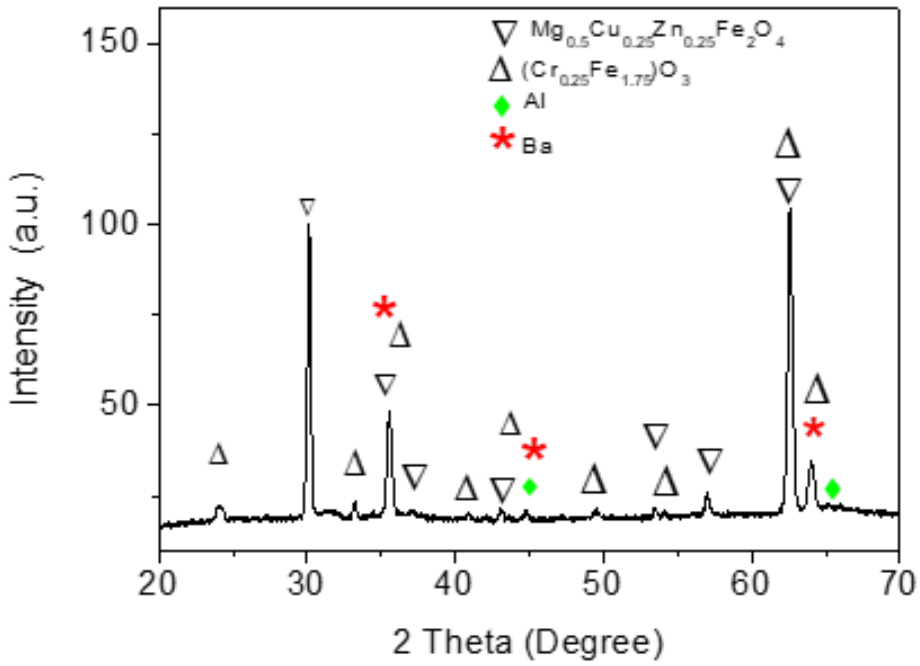


Fig. 2. XRD profile of alloy M1.

3.2 Tensile test

The results of the uniaxial tensile test are presented in the stress (MPa) versus strain (mm) curve shown in figure 3. The behavior observed is characteristic of a ductile metal alloy, with a distinct region of elastic deformation, a prolonged region of plastic deformation, and a marked capacity for deformation prior to fracture.

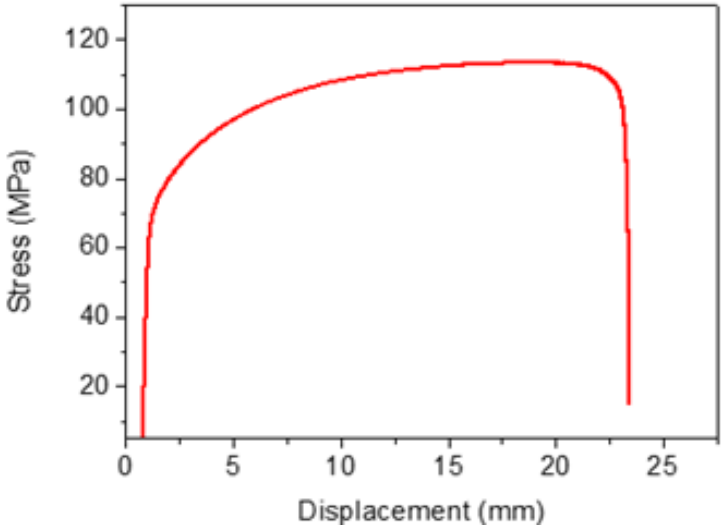


Fig. 3. Stress-Strain curve obtained of specimen M1

Based on the data from the curve, a maximum stress of 115 MPa was determined with a displacement of 22.5 mm, a considerable decrease was observed, it is new information. The results are similar with the results showed by Chengyi Huang et al, [14]

3.3 Hardness test

The hardness increasing in the sample M1 derivate of structural crystal modifications and the effect of barium, there are in the literature reports.

Table 2.

Hardness

Sample	Hardness (Scale 15N)
M0	15.5
M1	23.5

3.3 General Discussion

The tensile test confirms that the $BaCO_3$-modified alloy is quite ductile. On the other situation, the profile of XRD showed that the carbonate used was decomposed, an elemental phase with part of barium appeared. This finding is consistent with the reports by

Deev et al. [9] and Barzani [10]. Similarly, it was observed that the $Al_5Cu_2Mn_3$ phase disappeared. This suggests that barium influences the copper and manganese compounds, thereby reducing their negative effects on toughness [11, 12]. In short, the structural improvement observed in XRD is directly related to the good mechanical performance obtained in the test.

Conclusions

The procedure involved the addition on the alloy with $BaCO_3$ and heating under melting point of aluminum, generate new information on it alloy and were identified modifications in structure of the alloy on surfaces were observed points with Ba, its structure crystalline is different structure to the precursor material, it increases the hardness than original alloy, the maximum stress, the tensile test was obtained.

Acknowledge

Participation of the automotive engineering student Diego Said Mendoza Cruces in part of the characterization and the test of hardness

References

1. Grand View Research. (2024). *Lightweight materials market analysis*. Grand View Research.

2. Coherent Market Insights. (2026). *Lightweight materials market size & trends, 2026–2033*. Coherent Market Insights.

3. Y. Zheng, B. Luo, Z. Bai, J. Wang, & Y. Yin. (2017). Study of the precipitation hardening behaviour and intergranular corrosion of Al-Mg-Si alloys with differing Si contents. *Metals,* 7(10), 387. https://doi.org/10.3390/met7100387

4. Y. Li, G. Gao, Z. Wang, H. Di, J. Li, & G. Xu. (2018). Effects of the Mg/Si ratio on microstructure, mechanical properties, and precipitation behavior of Al-Mg-Si-Zn alloys. *Materials, 11*(12), 2591. https://doi.org/10.3390/ma11122591

5. S. Hegde, & K. N. Prabhu. (2008). Modification of eutectic silicon in Al-Si alloys. *Journal of Materials Science,* 43(9), 3009–3027. https://doi.org/10.1007/s10853-008-2525-5

6. K. Nogita, S. D. McDonald, & A. K. Dahle. (2004). Eutectic modification of Al-Si alloys with rare earth metals. *Materials Transactions,* 45(2), 323–326.

7. G. Gyarmati, & J. Erdélyi. (2025). Intermetallic phase control in cast aluminum alloys by utilizing heterogeneous nucleation on oxides. *Metals, 15*(4), 404. https://doi.org/10.3390/met15040404

8. A. I. Ikeuba, C. N. Njoku, I. I. Udoh, E. F. Daniel, P. C. Uzoma, & B. O. Okonkwo. (2024). A review of the electrochemical and galvanic corrosion behavior of aluminium alloys. *RSC Advances,* 14(40), 31942–31953.

9. V. B. Deev, E. S. Prusov, E. K. Ri, & I. V. Shabaldin. (2024). Modification of cast aluminum matrix composite materials with barium. *Tsvetnye Metally*, (4), 14–22.

10. M. Barzani. (2019). *Machinability of Al–20Mg₂Si–Cu metal matrix composite modified with bismuth or barium* (Doctoral dissertation). École de technologie supérieure.

11. A. Mazidi, & S. H. Razavi. (2018). Modification of eutectic Si and the microstructure in an Al-7Si alloy with barium addition. *Materials Science and Engineering: A,* 728, 72–79.

12. N. A. Nordin, S. Farahany, T. A. Abu Bakar, A. Ourdjini, S. A. Mazlan, & H. Yahaya. (2020). Effect of barium on the structure and characteristics of Mg_2Si reinforced particles Al-Mg_2Si-Cu *in situ* composite. En *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 265–274). Springer.

13. ASTM International. (2022). *ASTM E8/E8M-22: Standard test methods for tension testing of metallic materials*. ASTM International.

14. C. Huang, W. Chen, S. Duan, Y. Zhu, J. Du (2026). Simultaneous improvement of strength and conductivity in 6101 alloy via pre-aging and variable-temperature rolling. *J. Mater. Res. Technol.* 42(2026), (pp 9610-9618), https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2026.05.15

Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft

• • •

№132 2026

German International Journal of Modern Science

• • •

№132 2026

Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft ist eine internationale Fachzeitschrift in deutscher, englischer und russischer Sprache.

Periodizität: 24 Ausgaben pro Jahr
Format - A4
Alle Artikel werden überprüft.
Freier Zugang zur elektronischen Version des Journals

German International Journal of Modern Science is an international, German/English/Russian/Ukrainian language, peer-reviewed journal.

Periodicity: 24 issues per year
Format - A4
All articles are reviewed.
Free access to the electronic version of journal.

- Edmund Holst (Salzburg) AT
- Michaela Meissner (Köln) DE
- Klara Amsel (Liège) BE
- Briana French (Cambridge) GB
- Joleen Parsons (Manchester) GB
- Dragomir Koev (Sofia) BG
- Stanislav Štěpánek (Praha) CZ
- Valeriya Kornilova (Kyiv) UA
- Dmitriy Aksenov (Lviv) UA
- Valentin Bragin (Moscow) RU
- Mirosław Bednarski (Warsaw) PL
- Daniela Villa (Florence) IT
- Mattia Molteni (Rome) IT
- Sylwia Krzemińska (Ljubljana) SI
- Käte Kraus (Vienna) AT
- Eleonora Lehmann (Berlin) DE
- Alexander Dressler (Marseille) FR
- Zdzisław Małecki (Warsaw) PL
- Adrián Borbély (Budapest) HU

- Edmund Holst (Salzburg) AT
- Michaela Meissner (Köln) DE
- Klara Amsel (Liège) BE
- Briana French (Cambridge) GB
- Joleen Parsons (Manchester) GB
- Dragomir Koev (Sofia) BG
- Stanislav Štěpánek (Praha) CZ
- Valeriya Kornilova (Kyiv) UA
- Dmitriy Aksenov (Lviv) UA
- Valentin Bragin (Moscow) RU
- Mirosław Bednarski (Warsaw) PL
- Daniela Villa (Florence) IT
- Mattia Molteni (Rome) IT
- Sylwia Krzemińska (Ljubljana) SI
- Käte Kraus (Vienna) AT
- Eleonora Lehmann (Berlin) DE
- Alexander Dressler (Marseille) FR
- Zdzisław Małecki (Warsaw) PL
- Adrián Borbély (Budapest) HU

Artmedia24

Anschrift: Industriestraße 8,74589 Satteldorf Deutschland.

E-mail: info@dizzw.com
WWW: www.dizzw.com

Chefredakeur: Reinhardt Roth

Druck: Einzelfirma Artmedia24, Industriestraße 8,74589 Satteldorf Deutschland

Artmedia24

Address: Industriestrasse 8,74589 Satteldorf Germany.

E-mail: info@dizzw.com
WWW: www.dizzw.com

Editor in chief: Reinhardt Roth

Printing: Artmedia24, Industriestrasse 8,74589 Satteldorf Germany.

Der Redaktionsausschuss der Zeitschrift ist nicht verantwortlich für die veröffentlichten Materialien.

Für den Inhalt der Artikel sind die Autoren verantwortlich
Die Meinung der Redaktion spiegelt nicht unbedingt die Meinung der Autoren wider.

Bei Nachdrucken muss die Zeitschrift zitiert werden.

Das Material wird im eigenen Wortlaut des Autors veröffentlicht.

Editorial board of journal is not responsible for the materials published there.

Authors are responsible for the content of articles.

Opinion of editorial board may not coincide with the opinion of authors.

In case of materials reprinting - link to journal is required.
Materials are publishing in author's edition.

ISSN (Print) 2701-8369

ISSN (Online) 2701-8377

Edition: № 132/2026 (July) – 132th

Passed in press in July 2026

Printed in July, 2026

Printing: Artmedia 24, Industriestrasse 8,

74589 Satteldorf, Germany.

© Artmedia24

© Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft / German International Journal of Modern Science